

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งในเครื่องจักรกล
ROTARY ENCODER FOR ROTATING MACHINE



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 62564
วัน,เดือน,ปี..... 19 ส.ค. 2549

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งในเครื่องจักรกล (ROTARY ENCODER FOR ROTATING MACHINE)

ผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งในเครื่องจักรกล (ROTARY ENCODER FOR ROTATING MACHINE)

นางสาวเกศินี มาลากาญจน์
 นายภาณุวัฒน์ เหลืองบริสุทธิ
 ผศ.ดร. สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา อาจารย์ที่ปรึกษา
 ดร. สมภาพ ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์นี้ นำเสนออุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งราคาถูกลงสำหรับเครื่องจักรกลไฟฟ้า อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งที่นำเสนอนี้ประกอบด้วยตัวตรวจจับแบบฮอลล์ตรวจจับสนามแม่เหล็ก จากแม่เหล็กถาวรซึ่งถูกติดตั้งอยู่บนท้ายเพลลาของเครื่องจักรกลไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากตัวตรวจจับจะถูกนำไปปรับปรุง และส่งเป็นอินพุทของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งได้เอาต์พุต เป็นสัญญาณแสดงตำแหน่งของเครื่องจักรกลไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ROTARY ENCODER FOR ROTATING MACHINE

MISS KASINEE	MALAKAN	
Mr. PANUWAT	RANGBORISOOT	
Asst. Prof. Dr. SUPAT	KITTIRATSATCHA	Advisor
Dr. SOMPOB	POLMAI	Advisor
2005		

ABSTRACT

This project present a low-cost rotary encoder for electric machines. The proposed rotary encoder composes of hall-effect sensors detecting magnetic field emitted from a permanent magnet installed at the shaft-end of the machine. The output voltage of the sensors are reconditioned and sent to the microcontroller system, which will process the data and provide output voltage indicating the machine angular position.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความเมตตาเป็นอย่างสูง จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพัฒน์ กิตติรัตนัสัจจา อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นให้ความกรุณาเอื้อเฟื้ออุปการณ และ ความช่วยเหลืออื่นๆแก่คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ ดร. สมภพ ผลไม้ ที่ให้ความกรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนให้ความเอาใจใส่ตามถึงความก้าวหน้าอยู่เสมอ ทำให้คณะผู้จัดทำมีความกระตือรือร้น และทำงานอย่างเป็นระบบมากขึ้น และ ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้แก่คณะผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณ พี่ๆนักศึกษาปริญญาโท ที่ให้คำแนะนำ และ ให้คำปรึกษาเอื้อเฟื้ออุปการณที่จำเป็น รวมถึงการให้ความสนใจตามถึงความคืบหน้าเสมอ

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ของคณะผู้จัดทำ ที่ได้ให้ความสนับสนุนให้โอกาสคณะผู้จัดทำได้เล่าเรียนจนถึงทุกวันนี้ และเป็นกำลังใจให้ผู้จัดทำตลอดมา อีกทั้งขอขอบคุณเพื่อนๆที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจแก่ผู้จัดทำ จนทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

คณะผู้จัดทำ

นางสาวเกศินี มาลาภาณูจน์
นายภาณุวัฒน์ เหลืองบริสุทธิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
สารบัญรูป.....	III
สารบัญตาราง.....	V
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป.....	1
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect).....	3
2.2 ทฤษฎีและหลักการสนามแม่เหล็ก.....	4
2.3 ทฤษฎีและหลักการของแม่เหล็ก.....	6
2.4 ทฤษฎีและหลักการของ Hall sensor.....	7
2.4.1 การประยุกต์ใช้.....	7
2.4.2 ตัวรับรู้ฮอลล์.....	8
2.5 ทฤษฎีและหลักการของ ADuC832.....	10
2.5.1 การใช้งาน Analog to Digital Converter (ADC).....	10
2.5.1.1 รีจิสเตอร์ ADCCON 1.....	12
2.5.1.2 รีจิสเตอร์ ADCCON 2.....	13
2.5.1.3 รีจิสเตอร์ ADCCON 3.....	15
2.5.2 การใช้งาน ADC Offset และ Gain Calibration Coefficients.....	16
2.5.3 การใช้งานแรงดันอ้างอิง (Voltage Reference Connections).....	17
2.5.4 การใช้งาน Digital to Analog Converter (DAC).....	17
2.5.5 การใช้งาน รีจิสเตอร์ DAxH/L.....	19
2.5.6 การทำงานของ Digital to Analog Converter (DAC).....	19
2.6 ทฤษฎีและหลักการภาษา C.....	20
2.6.1 ส่วนประมวลผลก่อน (Preprocessor statements).....	20
2.6.2 ส่วนประมวลผลกลาง (Global Declarations).....	20
2.6.3 ส่วนต้นแบบฟังก์ชัน (Function prototypes).....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4	ส่วนรายละเอียดฟังก์ชัน (Detail functions).....	21
บทที่ 3	การออกแบบและการสร้างการทำงานในส่วนฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์.....	22
3.1	การเลือกแม่เหล็ก.....	22
3.2	การนำแม่เหล็กมาประยุกต์ใช้ร่วมกันกับ Hall sensor.....	23
3.3	การเลือกมอเตอร์.....	25
3.4	การออกแบบวงจรปรับระดับ Offset และ Amplitude.....	25
3.5	การออกแบบโปรแกรม.....	26
3.5.1	การกำหนดเงื่อนไขในการเขียนโปรแกรม.....	26
3.5.2	การคำนวณ ค่าของ Look up table โดยใช้ MATHLAB.....	27
3.5.3	การเขียน Flow charge.....	28
3.5.4	คำสั่งของโปรแกรม.....	29
3.6	การนำ Hardware ในส่วนต่างๆมาประกอบเข้าด้วยกัน.....	31
บทที่ 4	การทดลองและผลการทดลอง.....	32
4.1	การทดลองครั้งที่ 1 การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของแม่เหล็กและแรงดันเอาต์พุตของ Hall Sensor.....	32
4.1.1	จุดประสงค์.....	32
4.1.2	อุปกรณ์ที่ใช้งาน.....	32
4.1.3	สรุปผลการทดลอง.....	35
4.1.4	ปัญหาและอุปสรรค.....	36
4.2	การทดลองครั้งที่ 2 การทดสอบหาตำแหน่งของโรเตอร์โดยการใช้ Hall Sensor 2 ตัว.....	36
4.2.1	จุดประสงค์.....	36
4.2.2	อุปกรณ์ที่ใช้งาน.....	36
4.2.3	สรุปผลการทดลอง.....	40
4.2.4	ปัญหาและอุปสรรค.....	40
4.3	การทดลองที่ 3 การทดสอบหาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความเร็วโรเตอร์ที่มีผลต่อรูปคลื่นไซน์.....	41
4.3.1	จุดประสงค์.....	41
4.3.2	อุปกรณ์ที่ใช้งาน.....	41
4.3.3	สรุปผลการทดลอง.....	43
4.3.4	ปัญหาและอุปสรรค.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4	การทดลองที่ 4 ทำการป้อนโปรแกรมและทำการจ่าย สัญญาณ Sine เพียงสัญญาณเดียว.....	44
4.4.1	จุดประสงค์.....	44
4.4.2	อุปกรณ์ที่ใช้งาน.....	44
4.4.3	สรุปผลการทดลอง.....	45
4.4.4	ปัญหาและอุปสรรค.....	45
4.5	การทดลองที่ 5 ทำการป้อนโปรแกรมและทำการจ่าย สัญญาณ Sine และ Cosine	45
4.5.1	จุดประสงค์.....	45
4.5.2	อุปกรณ์ที่ใช้งาน.....	45
4.5.3	สรุปผลการทดลอง.....	46
4.5.4	ปัญหาและอุปสรรค.....	46
4.6	การทดลองที่ 6 ทำการปรับระดับ Offset และ Amplitude ให้เท่ากับ แรงดันอ้างอิง.....	46
4.6.1	จุดประสงค์.....	46
4.6.2	อุปกรณ์ที่ใช้งาน.....	47
4.6.3	สรุปผลการทดลอง.....	47
4.6.4	ปัญหาและอุปสรรค.....	48
บทที่ 5	บทสรุป.....	49
5.1	สรุปโครงงานและข้อเสนอแนะ.....	49
5.2	บทวิจารณ์โครงงาน.....	49
ภาคผนวก ก	Solid State Hall Effect Sensors.....	51
ภาคผนวก ข	Low Power Quad Operational Amplifiers LM324.....	55
ภาคผนวก ค	Microconverter.....	66
	กิตติกรรมประกาศ.....	75
	เอกสารอ้างอิง.....	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การทดลองปรากฏการณ์ฮอลล์.....	3
2.2 เส้นสนามแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็ก.....	5
2.3 รูปแบบเส้นสนามแม่เหล็กในรูปแบบต่าง ๆ.....	5
2.4 แสดงเส้นแรงแม่เหล็ก.....	6
2.5 แสดงไดโพลแม่เหล็ก.....	6
2.6 แสดงกราฟเอาต์พุตของ Hall sensor เมื่อเกิดการอิมิตัว.....	7
2.7 ตำแหน่งขา Hall Linear Sensor.....	7
2.8 แสดงการเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์ของตัวรับรู้ฮอลล์ (Hall Linear Sensor).....	8
2.9 การวัดความต่างศักย์ฮอลล์ V_H	9
2.10 ลักษณะของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์.....	10
2.11 โครงสร้างของ Internal ADC.....	11
2.12 แสดงการวางผลลัพธ์จากการแปลง ADC ภายในรีจิสเตอร์ ADCDATAH/L.....	11
2.13 แสดงการต่อ Capacitor ระหว่างขา VREF และ ขา CREF ลงกราวด์.....	16
2.14 แสดงวงจรเสมือนของ DAC.....	20
2.15 แสดงช่วงของการไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรขยายสัญญาณ.....	20
3.1 ตัว Hall Sensor.....	23
3.2 Block Diagram ของ Hall sensor ss495A.....	24
3.3 วงจรปรับระดับ Offset และ Amplitude.....	25
3.4 วงจรภายในของวงจรปรับระดับ Offset และ Amplitude.....	25
3.5 กราฟบอกลักษณะเอาต์พุตโดยรวม.....	26
3.6 การคำนวณค่า Look up table ในช่วง 1.....	27
3.7 การคำนวณค่า Look up table ในช่วง 3.....	27
3.8 Flow Charge ของโปรแกรมตรวจจับตำแหน่งเครื่องจักรกล.....	28
3.9 ลักษณะ Hardware ที่สมบูรณ์แล้ว.....	31
4.1 การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของแม่เหล็กและแรงดันเอาต์พุต ของ Hall Sensor.....	33
4.2 แสดง Diagram ของการทดสอบและแนวข้อสนามแม่เหล็ก.....	33
4.3 กราฟการทดลองที่ 1.....	35
4.4 การทดสอบหาตำแหน่งของแม่เหล็กโดยใช้ Hall Sensor 2ตัว.....	36
4.5 แสดง Diagram ของการทดสอบและแนวของสนามแม่เหล็ก.....	37
4.6 กราฟการทดลองที่ 2.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การทดสอบหาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความเร็วโรเตอร์ที่มีผลต่อรูปคลื่นไซน์.....	41
4.8 แสดง Diagram ของการทดสอบและแนวของสนามแม่เหล็ก.....	42
4.9 กราฟทดสอบหาความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของโรเตอร์ที่มีผลต่อรูปคลื่น.....	42
4.10 รูปการทดลองที่ 4, 5 และ 6.....	43
4.11 กราฟการทดลองที่ 4.....	44
4.12 กราฟการทดลองที่ 5.....	46
4.13 กราฟการทดลองที่ 6.....	47



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการใช้งานรีจิสเตอร์ ADCCON 1.....	12
2.2 แสดงการใช้งานรีจิสเตอร์ ADCCON 2.....	13
2.3 แสดงการใช้งานรีจิสเตอร์ ADCCON 3.....	15
2.4 แสดงการใช้งานรีจิสเตอร์ DACCON.....	18
3.1 วัสดุที่ใช้ทำแม่เหล็ก.....	22
3.2 สเปคของฮอลล์เซนเซอร์.....	24
4.1 ผลการทดลองที่ 1.....	34
4.2 ผลการทดลองที่ 2 ของ Sensor ตัวที่ 1 (0 องศา).....	37
4.3 ผลการทดลองที่ 2 ของ Sensor ตัวที่ 2 (90 องศา).....	38



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน Power electronic มีบทบาทสำคัญการที่ได้หันมาสนใจเรื่องที่เกี่ยวข้องกับ Power electronic เพราะว่าในปัจจุบัน Power electronic เข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมากในหลายๆด้าน ยิ่งในอนาคตยิ่งน่าสนใจและจับตามอง เพราะว่าพลังงานยิ่งลดน้อย ทำให้ Power electronic เข้ามามีบทบาทมาก และเมื่อได้เข้ามาศึกษาทางด้านนี้ทำให้รู้สึกชอบและคิดที่น่าสนใจ และการทำ Project ในครั้งนี้ได้ทำเกี่ยวกับเรื่อง อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งในเครื่องจักรกล ซึ่งก็เป็นเรื่องที่น่าจะได้รับความสนใจเป็นอย่างดี เพราะว่าเครื่องจักรกลมีการใช้งานโดยทั่วไป ตามโรงงานอุตสาหกรรมก็ใช้กันทุกโรงงานการทำ Project ในครั้งนี้ เมื่อสำเร็จก็ถือว่าได้พัฒนาเครื่องจักรไปในระดับหนึ่ง การที่ทำ Project และเมื่อเราได้มาทำงานตรงนี้ก็ต้องการมีการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้โดยตรงว่าเป็นอย่างไร ที่มาที่ไปเป็นอย่างไร มีแนวทางในการทำอย่างไร และที่ตรงนี้ก็ต้องการศึกษาเพื่อให้ได้ทราบถึงเรื่องที่ต้องการทราบอย่างละเอียด เป็นขั้นเป็นตอน เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ถูกต้องเหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการทำงานของฮอลล์เซนเซอร์ แม่เหล็กและอุปกรณ์ในส่วน Hardware เพื่อให้เกิดความเข้าใจเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับ Software
2. ศึกษารายละเอียดของ Software คือการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการควบคุม Hardware
3. เมื่อศึกษาทั้งสองส่วนและเข้าใจอย่างละเอียดเพื่อนำไปสร้างสร้างอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งของเครื่องจักรหมุนได้

1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

การศึกษานี้ ได้มีการรวบรวมรายละเอียดทั้งทฤษฎี หลักการทำงาน และการออกแบบ ซึ่งมีเนื้อหาโดยสังเขปของแต่ละบทดังนี้

บทที่ 1 บทนำกล่าวความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย เนื้อหาโดยสังเขป

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการของอุปกรณ์ที่ใช้งาน คือ ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall effect) แม่เหล็ก Hall sensor ทฤษฎีและหลักการสนามแม่เหล็ก ทฤษฎีและหลักการของ ADuC832 และ ทฤษฎีแลหลักการโปรแกรมภาษา c

บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างการทำงานในส่วนของฮาร์ดแวร์ คือ ตัวแม่เหล็ก Hall sensor เบอร์ ss4905A วงจรยกระดับแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง แสดงการทดลองของ Hall sensor ทำงานร่วมกับแม่เหล็ก และ Hall sensor ทำงานร่วมกับแม่เหล็กและโปรแกรมทดลองร่วมกับ
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไขและพัฒนา

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. หาข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้มีการค้นคว้าข้อมูลจากห้องสมุด และอินเทอร์เน็ต
2. นำข้อมูลที่ได้มาทำการศึกษาค้นคว้าอย่างละเอียด เพื่อจะได้รู้เกี่ยวกับทฤษฎีต่างๆ
3. นำทฤษฎีที่ศึกษา มาทำการทดลองเพื่อให้ทราบอย่างแท้จริง ซึ่งการทดลองแบ่งออกเป็น การทดลองครั้งที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

ใช้ในการตรวจจับตำแหน่งในเครื่องจักรกล โดยการนำปรากฏการณ์ฮอลล์เข้ามาประยุกต์ใช้ในส่วนของ Hardware และใช้ภาษา C ในการเขียนโปรแกรมเป็นส่วนของ Software เพื่อสามารถนำไปสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่ง เพื่ออำนวยความสะดวกในการใช้งานในส่วน of เครื่องจักรกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

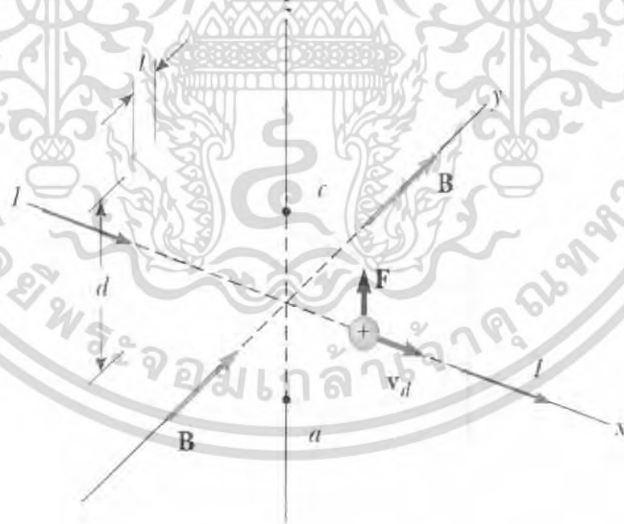
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect)

ฮอลล์ (Edwin Hall, 1879) ค้นพบว่าตัวนำที่มีกระแสไหลที่ถูกวางในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กจะมีแรงดันเกิดขึ้นในทิศตั้งฉากกับกระแสและสนามแม่เหล็กการเกิดเช่นนี้จึงเรียกชื่อ ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect) เกิดขึ้นจากการเบี่ยงเบนของพาหะประจุจากด้านหนึ่งของตัวนำไปยังอีกด้านหนึ่งเนื่องจากแรงแม่เหล็ก ข้อมูลดังกล่าวช่วยให้เราสามารถหาว่าพาหะประจุเป็นบวกหรือลบตลอดจนบอกค่าความหนาแน่นพาหะประจุ นอกจากนี้ยังช่วยให้เราสามารถหาขนาดของสนามแม่เหล็กได้สะดวกด้วย

การจัดการทดลองเพื่อศึกษาปรากฏการณ์ฮอลล์ ประกอบด้วยตัวนำเป็นแผ่นมีกระแส I ไหลในทิศ x ดังแสดงในรูป 2.1 ป้อนสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอในทิศ y ถ้าพาหะประจุเป็นอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ในทิศ $-x$ ด้วยความเร็ว V_d จะมีแรงแม่เหล็กกระทำต่ออิเล็กตรอนในทิศ $+z$ จะทำให้ประจุลบไปออกกันอยู่ด้วยด้านล่าง การสะสมประจุจะทวีมากขึ้นจนทำให้เกิดสนามไฟฟ้าสถิต เพื่อให้เกิดแรงไฟฟ้าสมดุลกับแรงแม่เหล็กเมื่อถึงสภาวะสมดุลอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไม่เบี่ยงเบน



รูปที่ 2.1 การทดลองปรากฏการณ์ฮอลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎีและหลักการสนามแม่เหล็ก

จากสมการของคูลอมบ์ ซึ่งแสดงแรงทางไฟฟ้าสถิตย์ระหว่างประจุทั้งสองนั้นใช้เฉพาะกรณีที่ประจุใดประจุหนึ่ง ในสองประจุนั้นเคลื่อนที่ แต่ถ้าประจุทั้งสองต่างก็เคลื่อนที่ แรงกระทำระหว่างประจุทั้งสองจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าที่หาได้จากสมการคูลอมบ์แรงที่เพิ่มเข้ามานี้เรียกว่าแรงแม่เหล็ก (Magnetic Force) โดยจะเกิดขึ้นเมื่อประจุทั้งสองเกิดการเคลื่อนที่ นั่นคือแรงแม่เหล็ก

นักประวัติศาสตร์ที่ศึกษาเรื่องวิทยาศาสตร์เชื่อกันว่าเข็มทิศที่ชาวจีนใช้นั้นเป็นแม่เหล็ก ชาวกรีกรู้จักเรื่องของแม่เหล็กตั้งแต่ปี ค.ศ. 800 ได้มีการค้นพบแมกนีไตต์ (magnetite) (Fe_2O_3) พบว่าสามารถดูดเศษเหล็กได้ ในปี ค.ศ. 1269 ปีแอร์ (Pierre de Maricont) ได้ทำแผนที่แสดงทิศโดยใช้เข็มทิศขนาดเล็กๆ เลื่อนไปยังตำแหน่งต่างๆบนผิวแม่เหล็กทรงกลมปรากฏว่าทิศของเข็มเกิดรูปแบบเป็นเส้นที่รอบทรงกลม และผ่านจุดที่ต่างกันสองจุดที่อยู่ตรงข้ามกัน ปีแอร์เรียกจุดทั้งสองว่าขั้วแม่เหล็ก ผลทดลองต่อๆ มายืนยันได้ผลเช่นเดียวกันนี้จะปรากฏมีขั้วแม่เหล็กมีสองขั้วคือ ขั้วเหนือ(north pole) และขั้วใต้(south pole) ซึ่งมีสมบัติคล้ายกับประจุบวกและประจุลบในเรื่องไฟฟ้าสถิตขั้วที่เหมือนกันจะผลักรัน และขั้วที่ต่างกันจะมีแรงดึงดูดกัน การที่ได้ชื่อขั้วเหนือและขั้วใต้นั้นเป็นผลมาจากพฤติกรรมของแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กโลก ถ้าเราแขวนแม่เหล็กที่กึ่งกลาง แท่งแม่เหล็กจะแกว่งไปมา จนกระทั่งขั้วเหนือชี้ไปยังขั้วเหนือของโลกและขั้วใต้จะชี้ไปยังขั้วใต้ของโลก

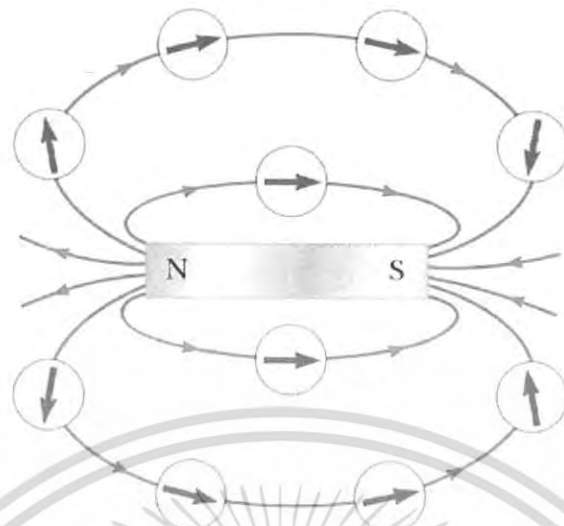
ในปี ค.ศ. 1600 กิลเบิร์ต (William Gilbert) ได้เสนอไว้ว่าโลกเป็นแม่เหล็กถาวรที่ใหญ่มากต่อมา มิเชลล์ (John Michell) ได้ทดลองแสดงแรงแม่เหล็ก ระหว่างขั้วเหนือและขั้วใต้พบว่าแรงระหว่างขั้วเหนือกันจะผลักรัน แรงระหว่างขั้วที่ต่างกันจะดึงดูดกัน แม้ว่าแม่เหล็กจะมีสมบัติคล้ายกันก็เรื่องไฟฟ้าสถิต แต่มีข้อแตกต่างที่สำคัญยิ่งคือ เราไม่สามารถมีขั้วเหนือหรือขั้วใต้โดดๆ ได้เช่นเดียวกับประจุบวกหรือประจุลบจะนั้นขั้วแม่เหล็กจะปรากฏเป็นคู่ขั้วเหนือและขั้วใต้ตลอดเวลา

ฟาราเดย์ (Faraday; 1820) และเฮนรี (Henry; 1797-1878) ได้แสดงผลการทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์ทางไฟฟ้า กับปรากฏการณ์ทางแม่เหล็กแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กทำให้เกิดสนามไฟฟ้าได้ ต่อมาแมกซ์เวลล์ (Maxwell) ได้ศึกษาทางทฤษฎีเพื่อยืนยันว่าผลการทดลองดังกล่าว

เราได้ศึกษาอันตรกิริยาของอนุภาคที่มีประจุ โดยพิจารณาสนามไฟฟ้ามาเกี่ยวข้องกับสนามไฟฟ้าที่อยู่รอบๆ ประจุไฟฟ้าในบริเวณที่ประจุมีการเคลื่อนที่มีสนามแม่เหล็กเพิ่มมาด้วยสนามแม่เหล็กนี้จะอยู่รอบๆ สารแม่เหล็กด้วย

ในการอธิบายสนามใดๆ เราจะต้องบอกทั้งขนาดและทิศทาง ทิศของสนามแม่เหล็ก B ที่ตำแหน่งใดๆ จะชี้ออกมาขั้วเหนือดังแสดงในรูป 2.2 เราจะนำเข็มทิศหาทิศของสนามแม่เหล็กเนื่องจากแท่งแม่เหล็ก ในรูป 2.2 นี้จะเห็นว่าสนามแม่เหล็กจะชี้จากขั้วเหนือ ไปขั้วใต้รูปแบบเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วแม่เหล็กแบบต่างๆ แสดงในรูป 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 เส้นสนามแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็ก



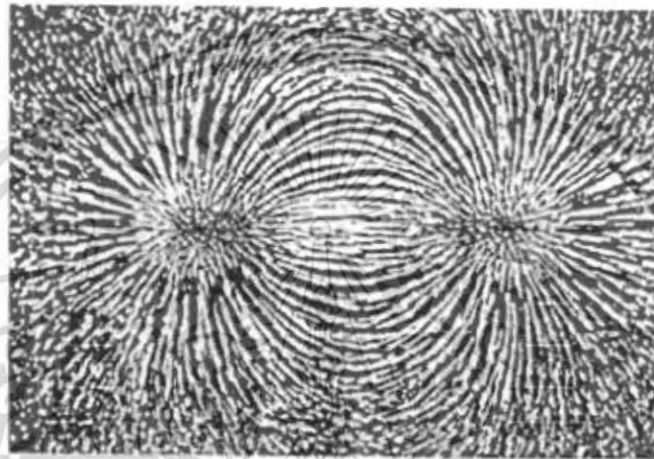
รูปที่ 2.3 รูปแบบเส้นสนามแม่เหล็กในรูปแบบต่างๆ

- (a) เส้นสนามแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็ก
- (b) เส้นสนามแม่เหล็ก ระหว่างขั้วเหนือและขั้วใต้
- (c) เส้นสนามแม่เหล็กระหว่างขั้วที่เหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 หลักการของแม่เหล็ก

แม่เหล็กจะต้องมี flux density เพียงพอเต็มที่กับการที่จะใช้กับงานนั้นๆ ตามธรรมชาติ แล้วสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field) จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้ว เส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic Lines) พุ่งออกจากขั้วหนึ่งไปยังอีกขั้วหนึ่งดังรูป 2.6 และในรูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ของแท่งแม่เหล็กแท่งหนึ่ง ซึ่งถูกหักออกเป็นท่อนเล็กๆ แล้วยังมีไดโพลแม่เหล็กเกิดขึ้นที่แม่เหล็กแต่ละท่อน และประพฤติกรรมเป็นแท่งแม่เหล็กอันใหม่ต่อไปอีก การที่จะทำการแยกขั้วแม่เหล็กทั้งสองออกจากกันเป็นขั้ว แม่เหล็ก (Monopole) จึงไม่สามารถที่จะทำได้เลย



รูป 2.4 แสดงเส้นแรงแม่เหล็ก



รูป 2.5 แสดงไดโพลแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ทฤษฎีและหลักการของ Hall sensor

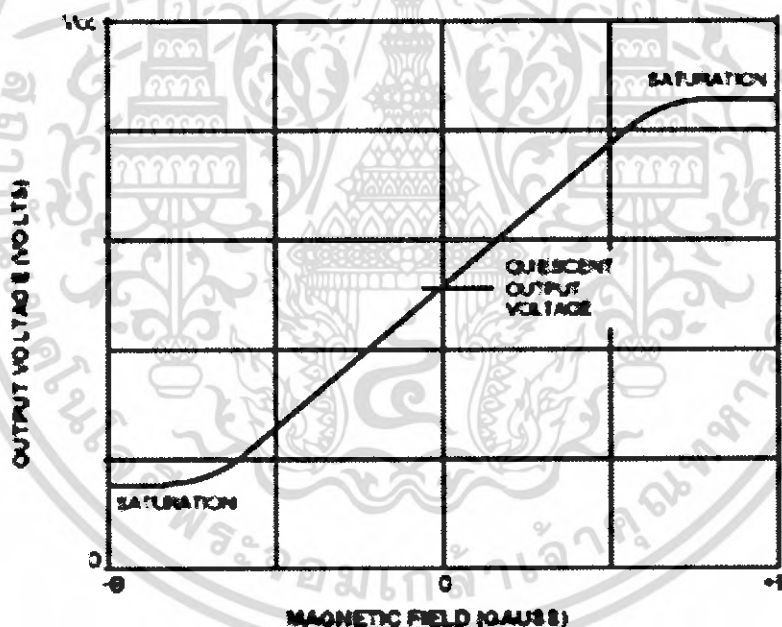
ลักษณะเฉพาะลักษณะสำคัญและข้อยกเว้นตัว Hall sensor ถูกออกแบบให้ใช้ใน rang กว้าง ๆ ของทั้งทางด้านบวกและลบของสนามแม่เหล็ก ส่วนใหญ่จะมีความไวอยู่ที่ 5 mV/Gauss 2.5 mV/Gauss และทำงานในช่วงอุณหภูมิ -40°C ถึง $+150^{\circ}\text{C}$

อุณหภูมิมีผลต่อการทำงานภายในตัวเซนเซอร์จึงต้องมีส่วนชดเชยอุณหภูมิ Linear Hall sensor จะต้องมีความเที่ยงตรงขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นมากกว่าอุณหภูมิใช้งานปกติ แรงดันที่วัดได้ไม่ควรพลาดเกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ของแรงดันที่อุณหภูมิปกติ

2.4.1 การประยุกต์ใช้

การนำ Hall Sensor ไปประยุกต์ใช้งานสามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้

- ตรวจจับกระแส
- ตรวจจับตำแหน่ง
- ควบคุมมอเตอร์
- อ่านรหัสแม่เหล็ก
- ตรวจจับน้ำหนัก
- ตรวจจับระดับของเหลว



รูปที่ 2.6 แสดงกราฟเอาต์พุตของ Hall sensor เมื่อเกิดการอิมิตัว

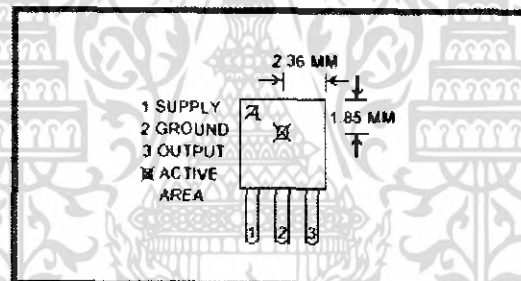
ส่วนใหญ่ Hall sensor จะมีอัตราส่วนแรงดัน output เป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันที่ออกจาก Dc supply เช่นถ้า $5\text{ V}_{\text{OUTPUT}}$ ที่ออกมาก็จะเป็น 2.5 V ส่วนความไว (Sensitivity) จะขึ้นอยู่กับแรงดันที่จ่าย (Input Voltage)

2.4.2 ตัวรับรู้ฮอลล์ (Linear Hall sensor)

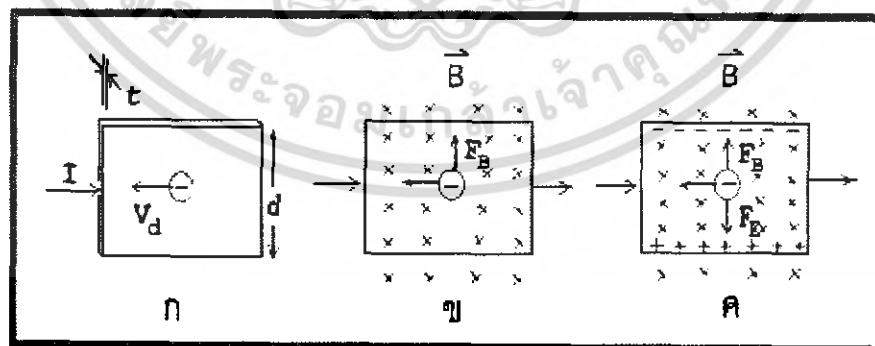
ตัวรับรู้ฮอลล์ (Linear Hall Sensor) ซึ่งทำงานโดยอาศัยหลักการ และทฤษฎีของปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect) ตัวรับรู้ฮอลล์เป็นวงจรรวมที่ทำให้เกิดความต่างศักย์ ซึ่งเป็นสัดส่วนตรงกับความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ผ่านในแนวตั้ง เมื่อนำตัวรับรู้ฮอลล์ไปต่อกับโวลต์มิเตอร์ แล้วนำไปวางใกล้บริเวณที่มีสนามแม่เหล็กก็จะทำให้ทราบค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กได้

ตัวรับรู้ฮอลล์ (Linear Hall Sensor) มีขนาดและลักษณะดังรูปที่ 2.7 และมีสมบัติดังนี้

- ค่าแรงดันที่ป้อนให้ Input voltage 4.5-6V Offset voltage 2.5 (โดยประมาณ)
ค่าความไวในการรับรู้ Sensitivity 5 mV/Gauss



รูปที่ 2.7 ตำแหน่งขา Hall Linear Sensor



รูป 2.8 แสดงการเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์ของตัวรับรู้ฮอลล์ (Hall Linear Sensor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

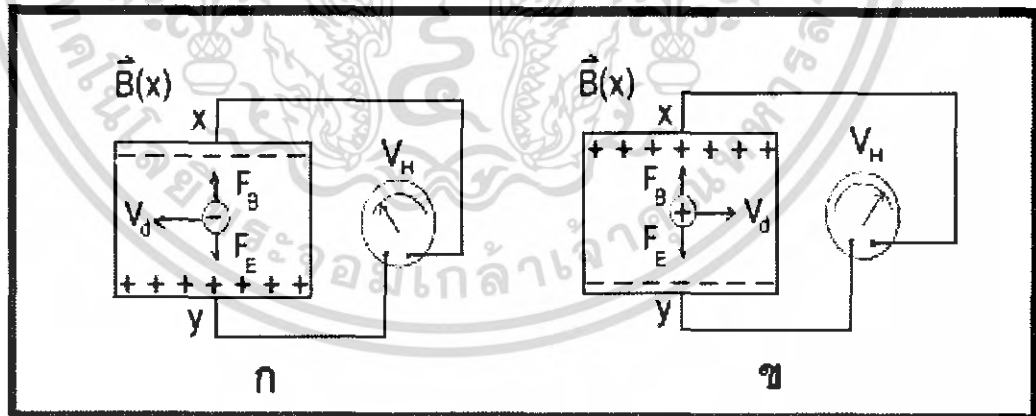
การเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์อาจอธิบายได้โดยใช้รูป 2.8 ก-ค ดังนี้

รูป 1 ก แสดงแผ่นตัวนำบางที่มีความกว้าง d หนา t และมีกระแสไฟฟ้า (conventional current) I ผ่านในทิศจากด้านซ้ายไปด้านขวา พาหะประจุคืออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ (ด้วยอัตราเร็วลอยเลื่อน V_d) ในทิศตรงข้ามกับกระแสไฟฟ้า I จากด้านขวาไปด้านซ้าย

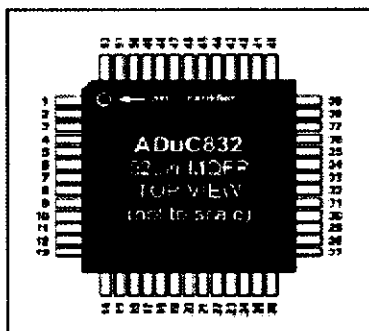
รูป 1 ข เมื่อใส่สนามแม่เหล็ก B ในทิศพุ่งเข้าหาและตั้งฉากกับระนาบแผ่นตัวนำบางหรือกระดาษ จะเกิดแรงแม่เหล็ก F_B กระทำกับอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนเบนไปทางขอบด้านบนของแผ่นตัวนำบาง

รูป 1 ค เมื่อเวลาผ่านไปจะมีอิเล็กตรอนถูกผลักไปที่ขอบด้านบนจำนวนมาก ส่วนขอบด้านล่างจะเกิดประจุไฟฟ้าบวกจำนวนมากเช่นกัน การที่มีประจุไฟฟ้าต่างชนิดกันที่ขอบทั้งสอง ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า เรียกว่า สนามไฟฟ้าฮอลล์ (hall field) E_H ในแผ่นตัวนำบางมีทิศจากขอบด้านล่างไปขอบด้านบน สนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดแรงไฟฟ้า F_E กระทำกับอิเล็กตรอน ซึ่งจะให้อิเล็กตรอนถูกผลักไปทางขอบด้านล่าง เมื่อแรงไฟฟ้าและแรงแม่เหล็กมีขนาดเท่ากัน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ในทิศไปทางซ้ายโดยไม่เบน

เราสามารถวัด V_H โดยต่อ มิลลิโวลต์มิเตอร์เข้ากับจุด x และจุด y ดังรูป 2.9 ก สภาพขั้วของ V_H ทราบได้จากเครื่องหมายที่อ่านได้จาก มิลลิโวลต์มิเตอร์ จากรูป 2.9 ก พาหะประจุคืออิเล็กตรอนจึงมีประจุลบ ถ้าพาหะประจุมีประจุบวก ทิศของ V_d และ E_H จะตรงข้ามกับในรูป 2.9 ก แต่ทิศของ F_B และ F_E ยังคงเดิม ดังแสดงในรูป 2.9 ข ทำให้ประจุบวกถูกผลักไปที่ขอบด้านขวา ส่วนประจุลบถูกผลักไปที่ขอบด้านซ้าย และสภาพขั้วของ V_H จะตรงข้ามกับกรณีที่พาหะประจุมีประจุลบ



รูป 2.9 การวัดความต่างศักย์ฮอลล์ V_H



รูปที่ 2.10 ลักษณะของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

2.5 ทฤษฎีและหลักการของ ADuC832

MCU ADuC832 เป็น Microcontroller ขนาด 8-bit ที่รวม Multi channel 12-bit ADC และ Dual 12-bit DACs ไว้ภายในชิพเดียว ภายในตัวชิพจะทำงานจาก Crystal 32.768 kHz โดยภายในชิพจะมี Phase Lock Loop (PLL) เพื่อทำให้ความถี่ของสัญญาณ Clock สูงขึ้นถึง 16.77 MHz โดยสัญญาณ Clock นี้ผู้ใช้สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงความถี่ของ Core clock ได้อีกด้วย ในส่วนของแกนหลัก หรือ โครงสร้างหลักของ Microcontroller (Microcontroller core) จะเหมือนกับ 8052 ดังนั้นผู้ใช้จะสามารถใช้ชุดคำสั่งของ Microcontroller 8051 ได้ทั้งหมด เพียงแต่ MCU ADuC832 จะมีรีจิสเตอร์เพิ่มขึ้นมา และ 1 machine cycle เท่ากับ 12 core clock

ในส่วนของหน่วยความจำภายในชิพ MCU ADuC832 นั้นจะมี Nonvolatile Flash/EE Program memory อยู่ 62 kBytes และ มี Nonvolatile Flash/EE Data memory อยู่ 4 kBytes นอกจากนั้นภายในชิพยังมี RAM อีก 2 ส่วน คือ RAM ขนาด 256 Bytes และ อีกส่วนหนึ่งจะเป็น Internal XRAM ขนาด 2048 Bytes (2 kBytes) นอกจากนั้นภายใน MCU ADuC832 ยังได้เพิ่มส่วนของ Analog Function ซึ่งเป็นฟังก์ชันการทำงานอื่นๆ เข้าไปด้วยเช่น 12 - bit DACs, Power Supply Monitor, และ Band gap reference

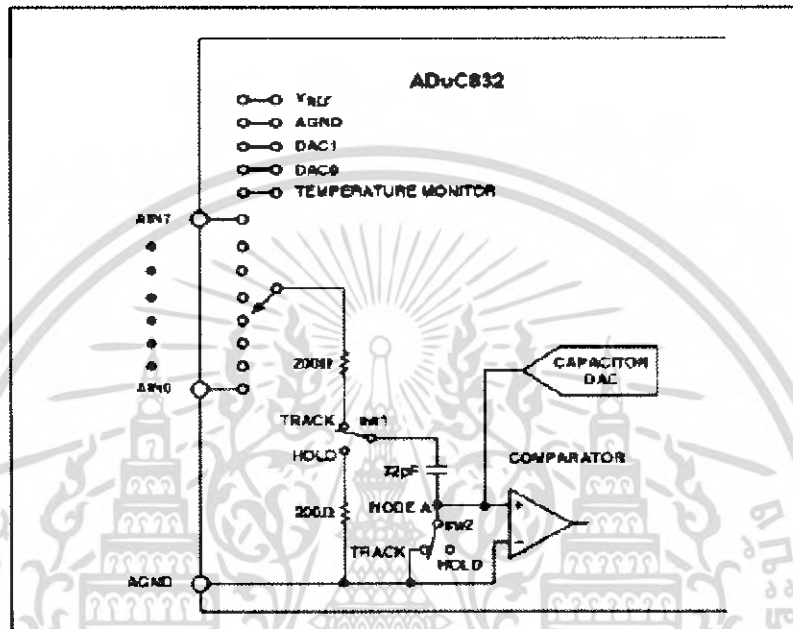
ในส่วนของอุปกรณ์รอบนอกของชิพ (Digital Peripherals) ที่รวมอยู่บนตัวชิพ คือ 16-bit $\Sigma-\Delta$ DACs, Dual output 16-bit PWM, Watchdog timer, time interval counter, และ มี 3 timer/counters, ซึ่ง timer 3 นั้นจะใช้สำหรับกำเนิด Baud rate และ Serial I/O Port (SPI, I²C และ UART)

2.5.1 การใช้งาน Analog to Digital Converter (ADC)

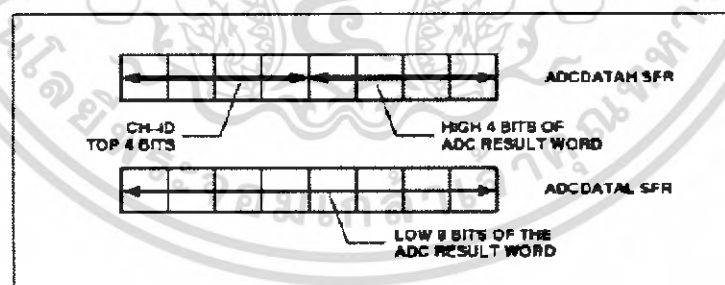
ในส่วนของ ADC Converter นี้จะมีขนาด 12- bit, 8 - channel โดยเลือกสัญญาณอินพุตจาก Mux ซึ่งจะมีอยู่ภายในตัวชิพ นอกจากนั้นยังมีคุณสมบัติอื่นๆ ดังนี้ คือ มี Track/Hold, On-chip reference, Calibration feature ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งส่วนประกอบทั้งหมดนี้สามารถปรับได้จากรีจิสเตอร์ SFR 3 ตัว คือ ADCCON1, ADCCON2, ADCCON3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่หวังกำไรใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC Converter ภายในจะมีส่วนของ Successive Approximation (SAR) อยู่ภายในด้วย ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกทางอินพุตจะอยู่ในช่วง 0 ถึง VREF ซึ่งความเที่ยงตรงในการแปลงสัญญาณอนาล็อกทางอินพุตนั้นมีความถูกต้องสูงมาก โดยภายในจะมีแรงดันอ้างอิง (VREF) อยู่ภายในอยู่แล้วที่ 2.5 V. ค่าสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะเป็นเลขไบนารี 12 บิต ดังนั้น



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของ Internal ADC



รูปที่ 2.12 แสดงการวางผลลัพธ์จากการแปลง ADC ภายในรีจิสเตอร์ ADCDATAH/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC Converter สามารถที่จะกำหนดให้ตัวมันทำงานในโหมด DMA ได้ โดย ADC จะแปลงสัญญาณแบบต่อเนื่อง และ จะจับ (Captures) ค่าแรงดัน 1 ค่าออกไปทาง External Memory โดยไม่มีผลกระทบกับการทำงานหลักของ MCU ได้อีกด้วย ซึ่งจะได้กล่าวถึงในส่วนต่อๆ ไป การใช้งาน ADC จะต้องสั่งงานผ่านรีจิสเตอร์ 3 ตัว คือ ADCCON1, ADCCON2, ADCCON3 และ ค่าตอบ 12 บิต ของการแปลงข้อมูลจะถูกเก็บในรีจิสเตอร์ ADCDATAH และ ADCDATAL ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.12

2.5.1.1 รีจิสเตอร์ ADCCON1

รีจิสเตอร์ ADCCON1 เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมเกี่ยวกับการ Conversion, acquisition times, Hardware conversion mode, และ Power-down modes ซึ่งรายละเอียดแสดงข้างล่าง คือ

ตำแหน่งของรีจิสเตอร์	EFH
ค่าเริ่มแรกของการใช้งาน	00H
การเข้าถึงแบบบิต	ไม่ได้

ตารางที่ 2.1 แสดงการใช้งานรีจิสเตอร์ ADCCON1

Bit	Name	คำอธิบาย			
7	MD1	บิตที่ใช้เลือกการทำงานของ ADC ถ้าเซตเป็น '1' โดยผู้ใช้ จะเป็นการเปิดการทำงานของโหมด ADC ถ้าเซตเป็น '0' โดยผู้ใช้ จะเป็นการปิดการทำงานของโหมด ADC			
6	EXT_R EF	ถ้า Set เป็น '1' โดยผู้ใช้ จะเป็นการจะเป็นการเลือกแรงดันอ้างอิงจากภายนอก (External Reference) ถ้าเซตเป็น '0' โดยผู้ใช้ จะเป็นการจะเป็นการเลือกแรงดันอ้างอิงจากภายใน (Internal Reference)			
5	CK_1	บิต CK1 และ CK0 เป็นบิตที่ใช้เลือกค่าอัตราการหาร PLL master clock เพื่อใช้กำเนิด ADC clock			
4	CK_0				
			CK1	CK0	MCLK Divider
			0	0	8
		0	1	4	
		1	0	16	
		1	1	32	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1(ต่อ) แสดงการใช้งานรีจิสเตอร์ ADCCON1

Bit	Name	คำอธิบาย															
3	AQ1	เป็นบิตที่ใช้เลือก Acquisition time ซึ่งจะใช้งานร่วมกัน 2 บิต คือ AQ1 และ AQ0 เป็นการเลือก															
2	AQ0	เวลาการ Track and Hold ของสัญญาณอินพุตที่จะเข้ามา ซึ่งขอแนะนำให้ใช้ #ADC Clks เท่ากับ 3 หรือ มากกว่านั้น															
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>AQ1</th> <th>AQ0</th> <th>#ADC Clks</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table>	AQ1	AQ0	#ADC Clks	0	0	1	0	1	2	1	0	3	1	1	4
AQ1	AQ0	#ADC Clks															
0	0	1															
0	1	2															
1	0	3															
1	1	4															
1	T2C	บิต TIMER 2 CONVERSION (T2C) ถ้าเซตเป็น '1' โดยผู้ใช้ จะเป็นการ Enable บิต Timer2 Overflow เพื่อใช้เป็นสัญญาณทริกให้เริ่มการแปลงสัญญาณ ADC															
0	EXC	บิต External Trigger Enable (EXC) ถ้าเซตเป็น '1' โดยผู้ใช้ จะยอมให้ขา 3.5 (CONVST) เป็นขาอินพุตสำหรับสั่งเริ่มการ Convert โดยจะ Active Low โดยขาี้ควรจะมี Active Low Pulse (ความกว้างของ Pulse > 100 ns)															

2.5.1.2 รีจิสเตอร์ ADCCON2

รีจิสเตอร์ ADCCON2 เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมเกี่ยวกับการเลือก Channel ของ ADC และ โหมดการ Conversion ซึ่งรายละเอียดแสดงข้างล่าง คือ

ตำแหน่งของรีจิสเตอร์	D8H
ค่าเริ่มแรกของการใช้งาน	00H
การเข้าถึงแบบบิต	ไม่ได้

ตารางที่ 2.2 แสดงการใช้งานรีจิสเตอร์ ADCCON2

Bit	Name	คำอธิบาย
7	ADCI	บิต ADC Interrupt (ADCI) บิตนี้จะเซตโดย Hardware ที่ปลายสุดของรอบการแปลงสัญญาณ ADC หรือ ที่ปลายของการแปลง DMA บิตนี้จะเคลียโดย Hardware เมื่อ PC ไปถึงตำแหน่งบริการ Interrupt ถ้าไม่ได้ใช้งานควรจะให้เป็น '0' ด้วย โปรแกรมของผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2(ต่อ) แสดงการใช้งานรีจิสเตอร์ ADCCON2

Bit	Name	คำอธิบาย																																																																											
6	DMA	<p>บิต DMA mode enable (DMA)</p> <p>ถ้าเซตเป็น '1' โดยผู้ใช้ จะเป็นการ Enable ก่อนการใช้งาน โหมด ADC DMA และ บิตนี้จะเซตเป็น '0' อัตโนมัติ</p> <p>ที่ปลายของรอบการทำงาน DMA การเซตบิตนี้จะเป็นสาเหตุให้อาท์พุทของ ALE นั้นหยุดทำงานลง และ จะทำงานอีกครั้งหนึ่งเมื่อ DMA นั้นเริ่มทำงานแต่จะทำงานอย่างถูกต้องเมื่อ DMA นั้นทำงานสมบูรณ์แล้ว</p>																																																																											
5	CCONV	<p>บิต Continuous conversion (CCONV)</p>																																																																											
4	SCONV	<p>ถ้าเซตเป็น '1' โดยผู้ใช้ จะเป็นการเริ่มการแปลงสัญญาณ ADC ในโหมด Continuous การแปลงสัญญาณใน</p>																																																																											
3	CS3	<p>โหมดนี้ผู้ใช้จะต้องตั้งค่าความถี่ และ channel ที่ต้องการจะแปลงเสียก่อนซึ่งตั้งค่าใน 3 รีจิสเตอร์นี้เช่นกัน</p>																																																																											
2	CS2	<p>บิต Single conversion (SCONV)</p> <p>ถ้าเซตเป็น '1' โดยผู้ใช้ จะเป็นการเริ่มการแปลงสัญญาณ ADC ในโหมด Single conversion บิตนี้จะรีเซตเป็น</p>																																																																											
1	T2C	<p>'0' โดยอัตโนมัติเมื่อจบรอบการแปลงสัญญาณแบบ Single conversion</p>																																																																											
0	EXC	<p>บิต Channel Select (CS3-0)</p> <p>บิตนี้จะใช้ในการเลือก Channel ที่ต้องการจะแปลงสัญญาณซึ่งผู้ใช้จะต้องควบคุมโดยการเขียนโปรแกรมเข้าไปในส่วนของโหมด DMA นั้นการเลือก Channel จะได้จาก Channel ID เพื่อเขียนข้อมูลไปที่ External memory</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>CS3</th> <th>CS2</th> <th>CS1</th> <th>CS0</th> <th>CH#</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>2</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>3</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>4</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>5</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>6</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>7</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>Temp Monitor</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>DAC0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>DAC1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>AGND</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>VREF</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>DMA STOP</td></tr> </tbody> </table>	CS3	CS2	CS1	CS0	CH#	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	2	0	0	1	1	3	0	1	0	0	4	0	1	0	1	5	0	1	1	0	6	0	1	1	1	7	1	0	0	0	Temp Monitor	1	0	0	1	DAC0	1	0	1	0	DAC1	1	0	1	1	AGND	1	1	0	0	VREF	1	1	1	1	DMA STOP
CS3	CS2	CS1	CS0	CH#																																																																									
0	0	0	0	0																																																																									
0	0	0	1	1																																																																									
0	0	1	0	2																																																																									
0	0	1	1	3																																																																									
0	1	0	0	4																																																																									
0	1	0	1	5																																																																									
0	1	1	0	6																																																																									
0	1	1	1	7																																																																									
1	0	0	0	Temp Monitor																																																																									
1	0	0	1	DAC0																																																																									
1	0	1	0	DAC1																																																																									
1	0	1	1	AGND																																																																									
1	1	0	0	VREF																																																																									
1	1	1	1	DMA STOP																																																																									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.3 รีจิสเตอร์ ADCCON3

รีจิสเตอร์ตัวนี้เป็น Register control ที่ใช้สำหรับการ Calibration ในหลายหน้าที่ด้วยกันของ ADC นอกจากนี้บิตนี้ยังใช้แสดงสถานะของการทำงานของ ADC อีกด้วยคือ บิต ADC busy

ตำแหน่งของรีจิสเตอร์	F5H
ค่าเริ่มแรกของการใช้งาน	00H
การเข้าถึงแบบบิต	ไม่ได้

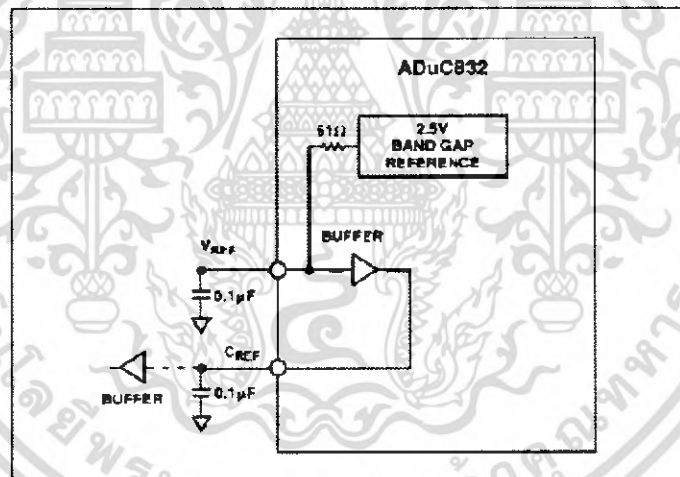
ตารางที่ 2.3 แสดงการใช้งานรีจิสเตอร์ ADCCON 3

Bit	Name	คำอธิบาย															
7	Busy	บิต ADC Busy Status(BUSY) บิตนี้คือ บิตแสดงสถานะซึ่งเป็นบิตที่อ่านได้อย่างเดียว(read-only) บิตนี้จะเซตเมื่อ ADC อยู่ในระหว่างการแปลงสัญญาณ หรือ อยู่ในระหว่างการ Calibration บิตนี้จะ clear อัตโนมัติเมื่อการแปลงสัญญาณ ADC หรือ การ Calibration นั้นเสร็จสิ้น															
6	GNCLD	บิต Gain Calibration Disable เซตเป็น '0' เพื่อ Enable Gain Calibration เซตเป็น '1' เพื่อ Disable Gain Calibration															
5	AVGS1	บิต Number of Averages Selection บิตนี้เป็นบิตที่ใช้เลือกจำนวนค่าเฉลี่ยการอ่านของ ADC ในระหว่างการ Calibration															
4	AVGS0	<table border="1"> <thead> <tr> <th>AVGS1</th> <th>AVGS0</th> <th>Number of Averages</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>31</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>63</td> </tr> </tbody> </table>	AVGS1	AVGS0	Number of Averages	0	0	15	0	1	1	1	0	31	1	1	63
AVGS1	AVGS0	Number of Averages															
0	0	15															
0	1	1															
1	0	31															
1	1	63															
3	RSVD	Reserved – บิตนี้ควรจะถูกกำหนดให้เป็น '0' ไว้															
2	RSVD	บิตนี้ควรจะมีค่าเป็น '1' โดยกำหนดจากผู้ซ้ขนะทำการ Calibration															
1	TYPICAL	บิต Calibration Type Select บิตนี้เป็นทางเลือกการ calibration ระหว่าง Offset(zero-scale) หรือ Gain(full-scale) เซตเป็น '0' สำหรับการเลือก Offset Calibration เซตเป็น '1' สำหรับการเลือก Gain Calibration															
0	SCAL	บิต Start Calibration Cycle เมื่อบิตนี้ถูกเซต จะเป็นการเริ่มการ calibration และ มันจะ clear โดยอัตโนมัติ เมื่อการ calibration นั้นสมบูรณ์															

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การใช้งาน ADC Offset และ Gain Calibration Coefficients

ADUC832 จะมีค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการ Calibration อยู่ 2 ที่ คือ 1.Offset calibration และ 2.Gain calibration ค่าสัมประสิทธิ์ทั้ง 2 นี้จะมีขนาด 14 บิต และ จะถูกแบ่งเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ 2 ตัว ซึ่ง ค่าสัมประสิทธิ์ของการปรับ Offset (offset calibration coefficient) จะถูกเก็บไว้ในที่รีจิสเตอร์ ADCOFSH จำนวน 6 บิต และ ที่รีจิสเตอร์ ADCOFSL จำนวน 8 บิต ในส่วนของค่าสัมประสิทธิ์ของการปรับ gain (gain calibration Coefficient) จะถูกเก็บไว้ในที่รีจิสเตอร์ ADCGAINH จำนวน 6 บิต และ ADCGAINL จำนวน 8 บิต ในส่วนของค่า Offset calibration coefficient จะชดเชย error ในส่วนของ Dc offset errors ทั้งในตัว ADC เอง และ ที่สัญญาณอินพุตที่เข้ามา ส่วนค่าสูงสุดของการปรับค่า offset โดยทั่วไปจะสามารถปรับได้ $\pm 5\%$ ของแรงดัน VREF ซึ่งก็คือ $\pm 125mV$ ที่แรงดัน VREF เท่ากับ 2.5 V ในทำนองเดียวกันการปรับค่า Gain calibration coefficient จะชดเชย error ในส่วนของ DC gain error ทั้งในตัว ADC เอง และ ที่สัญญาณอินพุตที่เข้ามาซึ่งช่วงของสัญญาณอินพุตที่สามารถเข้ามาได้สูงสุดที่ค่า gain coefficient สามารถที่จะชดเชยได้ คือ $1.025 \times VREF$ และ ช่วงสัญญาณอินพุตต่ำสุด คือ $0.975 \times VREF$ ซึ่งหมายความว่า $\pm 2.5\%$ ของแรงดันอ้างอิง (VREF)



รูปที่ 2.13 แสดงการต่อ Capacitor ระหว่างขา VREF และ ขา CREF ลงกราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การใช้งานแรงดันอ้างอิง (Voltage Reference Connections)

ภายในชิพจะมีแรงดันอ้างอิง band gap voltage reference 2.5 V. ซึ่งแรงดันนี้สามารถใช้เป็นแรงอ้างอิงสำหรับ ADC และ DAC ได้ ซึ่งการต่อในส่วนของ Hardware นั้นเพื่อให้มั่นใจว่าแรงดันอ้างอิงนี้จะเป็น 2.5 V จริงๆ ผู้ใช้จะต้องต่อ Capacitor ค่า 0.1 uF ที่ขา VREF และ ขา CREF ลงกราวด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.13

ในกรณีที่ใช้แรงดันอ้างอิงภายใน (Internal Voltage reference) เพื่อต่อใช้งานกับวงจรอื่นภายนอกสามารถใช้ผ่านทางขา CREF ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.13 แต่จะต้องต่อ Buffer ด้วย เพื่อให้มั่นใจว่าขาจะไม่ถูกดึงกระแสในกรณีที่ใช้แรงดันอ้างอิงจากภายนอก (External Voltage reference) ผู้ใช้จะต้องต่อแรงดันจากภายนอกไปที่ขา VREF และ ขา CREF และ บิตที่ 6 ของรีจิสเตอร์ ADCCON1 จะต้อง Set ให้เป็น '1' ด้วยเพื่อที่จะเปิดการใช้งานของ External Voltage reference เพื่อให้มั่นใจว่าการทำงานของ ADC นั้นมีความเที่ยงตรง, แรงดันที่จ่ายไปที่ขา VREF จะต้องอยู่ในช่วงระหว่าง 1 V. ถึง AVDD แต่สิ่งที่สำคัญคือ ห้ามใช้แรงดันอ้างอิงที่น้อยกว่า 1 V. โดยเด็ดขาดเพราะนั้นอาจจะทำให้แรงดันอ้างอิงนั้นสูญเสียความเที่ยงตรงไป

2.5.4 การใช้งาน Digital to Analog Converter (DAC)

ภายใน ADuC832 จะมีขา DAC ทั้งหมด 2 ขา จำนวน 12 บิต ซึ่งแต่ละขาจะมี Buffer ที่สามารถขับโหลดได้ 10 kOhm/100pF นอกจากนั้น แต่ละขาของ DAC จะสามารถเลือกช่วงแรงดันการทำงานได้ 2 ช่วง คือ 0 V. ถึง VREF (VREF = 2.5V. ซึ่งคือ Internal band gap 2.5 V. Reference) และ 0 V. ถึง AVDD นอกจากนั้นขา DAC สามารถทำงานได้ทั้ง โหมด 12 bit และ 8 bit โดย DAC ทั้ง 2 จะมีรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมมันซึ่ง ได้แก่ DACCON และมีรีจิสเตอร์อีก 4 ตัวสำหรับเก็บข้อมูล ได้แก่ DAC1H, DAC1L, DAC0H, DAC0L ซึ่ง แรงดันที่ขา DAC จะเปลี่ยนแปลงทันทีในขณะที่รีจิสเตอร์ DACL ถูกเขียนข้อมูล ดังนั้น รีจิสเตอร์ข้อมูลควรจะให้มีการเปลี่ยนแปลง หรือ กำหนดค่าข้อมูลที่รีจิสเตอร์ DACH ก่อน แล้วจึงค่อยตามด้วยค่ารีจิสเตอร์ DACL

รีจิสเตอร์	DACCON
ตำแหน่งของรีจิสเตอร์	FDH
ค่าเริ่มแรกของการใช้งาน	04H
การเข้าถึงแบบบิต	ไม่ได้

62564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 แสดงการใช้งานรีจิสเตอร์ DACCON

Bit	Name	คำอธิบาย
7	Mode	บิต DAC MODE บิตนี้จะมีผลที่เหมือนกันทั้ง DAC0 และ DAC1 เมื่อเซตเป็น '1' จะเป็นการใช้งานโหมด 8 บิต (Write 8 bit to DACxL SFR) เมื่อเซตเป็น '0' จะเป็นการใช้งานโหมด 12 บิต
6	RNG1	บิต DAC1 Range Select เมื่อเซตเป็น '1' จะเป็นการกำหนดให้ DAC1 ใช้ช่วง 0 – VDD เมื่อเซตเป็น '0' จะเป็นการกำหนดให้ DAC1 ใช้ช่วง 0 – VREF
5	RNG0	บิต DAC0 Range Select เมื่อเซตเป็น '1' จะเป็นการกำหนดให้ DAC0 ใช้ช่วง 0 – VDD เมื่อเซตเป็น '0' จะเป็นการกำหนดให้ DAC0 ใช้ช่วง 0 – VREF
4	CLR1	บิต DAC1 Clear เมื่อเซตเป็น '1' จะเป็นการกำหนดให้เอาต์พุตของ DAC1 ทำงานตามปกติ เมื่อเซตเป็น '0' จะเป็นการกำหนดให้เอาต์พุตของ DAC1 มีแรงดันเป็น 0 V.
3	CLR0	บิต DAC0 Clear เมื่อเซตเป็น '1' จะเป็นการกำหนดให้เอาต์พุตของ DAC0 ทำงานตามปกติ เมื่อเซตเป็น '0' จะเป็นการกำหนดให้เอาต์พุตของ DAC0 มีแรงดันเป็น 0 V.
2	SYNC	บิต DAC0/1 Update Synchronization เมื่อเซตเป็น '1' จะเป็นการกำหนดให้การเปลี่ยนแปลงทางเอาต์พุตของ DAC0/1 นั้น เปลี่ยนแปลงพร้อมกันทั้ง 2 ขา ทันทีที่มีการเขียนข้อมูลไปที่ DACxL/H SFR เมื่อเซตเป็น '0' จะเป็นการกำหนดให้ DAC ทั้ง 2 เปลี่ยนแปลงทางเอาต์พุตพร้อมกันเมื่อบิต SYNC = '1'
1	PD1	บิต DAC1 Power-Down เมื่อเซตเป็น '1' จะเป็นการกำหนดให้ เปิดการทำงาน (Power-On) DAC1 เมื่อเซตเป็น '0' จะเป็นการกำหนดให้ ปิดการทำงาน (Power-Off) DAC1
0	PD0	บิต DAC0 Power-Down เมื่อเซตเป็น '1' จะเป็นการกำหนดให้ เปิดการทำงาน (Power-On) DAC0 เมื่อเซตเป็น '0' จะเป็นการกำหนดให้ ปิดการทำงาน (Power-Off) DAC0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 รีจิสเตอร์ DACxH/L

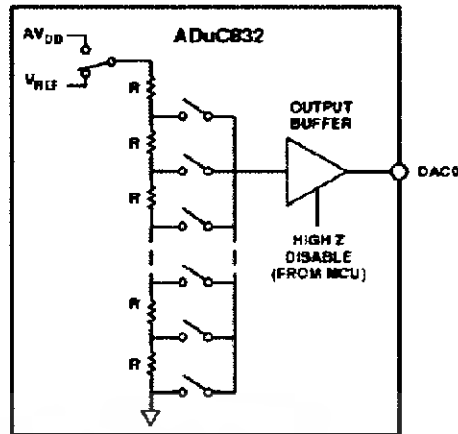
รีจิสเตอร์ตัวนี้เป็นรีจิสเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลของ DAC (DAC Data Registers) เมื่อผู้ใช้กำหนดค่าลงในรีจิสเตอร์นี้แล้วจะเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันทางเอาต์พุตของ DAC ทันที

ตำแหน่งของรีจิสเตอร์	DAC0L (DAC0 Data Low Byte) → F9H DAC0H (DAC0 Data High Byte) → FAH DAC1L (DAC1 Data Low Byte) → FBH DAC1H (DAC1 Data High Byte) → FCH
ค่าเริ่มแรกของการใช้งาน	00H
การเข้าถึงแบบบิต	ไม่ได้

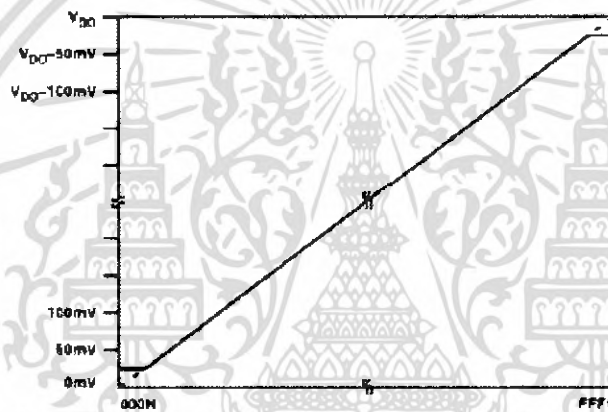
ผู้ใช้ต้องแน่ใจว่าการเขียนข้อมูลเข้าไปในรีจิสเตอร์ DAC x H/L นั้นถูกต้อง โดย DACxL จะบรรจุ 8 บิตต่ำของข้อมูล DAC และ 4 บิตล่างของ DACxH จะบรรจุ 4 บิตบนสุดท้ายของข้อมูล DAC ไว้

2.5.6 การทำงานของ DAC

วงจรการทำงานเสมือนของ DAC ภายในจะประกอบไปด้วยตัวต้านทาน และ Buffer Amplifier ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.14 ซึ่งคุณสมบัติเด่นของมัน คือ ความเป็น linear ของการทำงาน จากรูปที่ 2.14 จะเห็นว่ามี Switch เลือกรางแรงดันอ้างอิงซึ่งมีอยู่ 2 แหล่ง คือ AVDD และ VREF ซึ่งในการใช้งานในโหมด 0-to-AVDD แรงดันเอาต์พุตที่ได้จะอยู่ในช่วง 0 V. ถึง ค่าแรงดันที่ขา AVDD และ ในกรณีที่ใช้งานในโหมด 0-to-VREF ค่าแรงดันเอาต์พุตของ DAC จะอยู่ในช่วง 0 V. ถึง ค่าแรงดันอ้างอิงภายใน VREF ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.5 V. ความผิดพลาดหนึ่งทีแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.15 คือ การไม่เป็นเชิงเส้นในช่วงเริ่มต้น และ ช่วงปลายซึ่งทางเอาต์พุตของวงจรขยายจะเกิดการ Saturation ซึ่งในทางอุดมคติเราต้องการ การทำงานที่เป็นเชิงเส้น (Linear) ตลอดทั้งย่านซึ่งแสดงด้วยเส้นปะ ในรูปที่ 2.15 โดยในรูปที่ 2.15 นี้จะเป็นการแสดงผล Transfer function ของโหมด 0-to-AVDD เท่านั้น แต่ในโหมด 0-to-VREF จะมีลักษณะที่เหมือนกันแต่ระยะความไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear) จะน้อยกว่าเนื่องจาก $VREF < AVDD$



รูปที่ 2.14 แสดงวงจรเสมือนของ DAC



รูปที่ 2.15 แสดงช่วงของการไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรขยายสัญญาณ

2.6 ทฤษฎีและหลักการภาษา C

2.6.1 ส่วนประมวลผลก่อน (Preprocessor statements)

เป็นส่วนคอมไพเลอร์ ในส่วนนี้จะมีคำสั่งประมวลผลก่อน ได้แก่คำสั่งที่ขึ้นต้นด้วยเครื่องหมาย # เช่น #include

2.6.2 ส่วนประมวลผลกลาง (Global Declarations)

เป็นส่วนที่ใช้ในการประกาศตัวแปรส่วนกลาง (Global Declarations) เพื่อให้ฟังก์ชันทุกฟังก์ชันอ้างถึง หรือมองเห็นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 ส่วนต้นแบบฟังก์ชัน (Function prototypes)

เป็นส่วนที่ใช้ประกาศว่ามีฟังก์ชันอะไรบ้าง ต้นแบบฟังก์ชันช่วยให้เราสามารถ ออกแบบจากบนลงล่าง โดยที่ยังไม่ต้องเขียนรายละเอียด นอกจากนั้นการประกาศต้นแบบ ฟังก์ชันยังสามารถระบุว่าฟังก์ชันนั้นมีรูปแบบการประกาศพารามิเตอร์อะไรบ้าง

2.6.4 ส่วนรายละเอียดฟังก์ชัน (Detail functions)

เป็นส่วนที่ใช้อธิบายรายละเอียดของแต่ละฟังก์ชันที่เคยประกาศเอาไว้ในส่วน ต้นแบบฟังก์ชัน การเขียนรายละเอียดของฟังก์ชันต้องมี ชนิดข้อมูล ชื่อฟังก์ชัน พารามิเตอร์ สอดคล้องกับต้นแบบฟังก์ชัน และส่วนรายละเอียดฟังก์ชัน ภายในตัวฟังก์ชันมีตัวกำหนด ขอบเขตของฟังก์ชันคือ การใช้วงเล็บปีกกาเปิด และ วงเล็บปีกกาปิด



บทที่ 3

การออกแบบและการสร้างการทำงานในส่วนอาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์

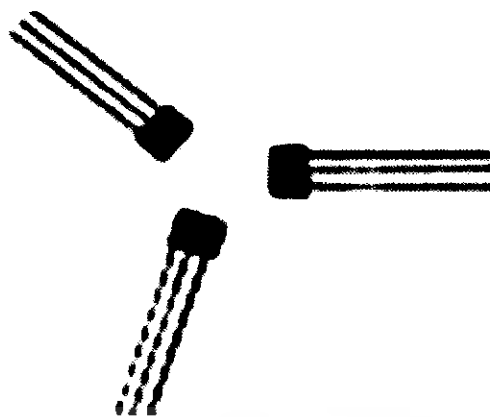
3.1 การเลือกแม่เหล็ก

แม่เหล็กที่จะนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกันในการทำงานมีความจำเป็นที่จะต้องมีความสูงสนามแม่เหล็กต้องคงที่มีอุณหภูมิสูง แม่เหล็กต้องมี Flux density เพียงพอเต็มกับความ ต้องการของ output ของตัวเซนเซอร์ ส่วนคุณสมบัติอื่น ๆ ก็คือ มีอุณหภูมิ พื้นที่หน้าตัด พื้นที่หน้าตัดเป็นตัวพื้นฐานวัดความสามารถของแม่เหล็กส่วนอุณหภูมิสามารถเปลี่ยนความ แข็งแรงของแม่เหล็ก ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วัสดุที่ใช้ทำแม่เหล็ก

material	Maximum energy Product (gauss-oersted)	Residual Induction (gauss)	Coercive force (oersteds)	Temperature coefficient	Cost	Comments
REcobalt	16×10^6	8.1×10^3	7.9×10^3	$-0.05\%/^{\circ}\text{C}$	Highest	Stronge, smallest, resists demagnetizing best
Alnico1,2,3,4	1.3- 1.7×10^6	5.5- 7.5×10^3	0.42- 0.72×10^3	$-0.02\%/^{\circ}\text{C}$ to $-0.03\%/^{\circ}\text{C}$	Medium	Non-Oriented
Alnico5,6,7	4.0- 7.5×10^6	10.5- 13.5×10^3	0.64- 0.78×10^3	$-0.02\%/^{\circ}\text{C}$ to $-0.03\%/^{\circ}\text{C}$	Medium-high	Oriented
Alnico8	5.0- 6.0×10^6	7- 9.2×10^3	1.5- 1.9×10^3	$0.01\%/^{\circ}\text{C}$ to $+0.01\%/^{\circ}\text{C}$	Medium-high	Oriented, high, coercive force best temperature coefficient
Alnico9	10×10^6	10.5×10^3	1.6×10^3	$-0.02\%/^{\circ}\text{C}$	High	Oriented highest energy product
Ceramic1	1.0×10^6	2.2×10^3	1.8×10^3	$-0.2\%/^{\circ}\text{C}$	Low	Nonoriented highcoerciveforce, hard, brittle, non-conductor
Ceramic2,3,4,6	1.8- 2.6×10^6	2.9- 3.3×10^3	2.3- 2.8×10^3	$-0.2\%/^{\circ}\text{C}$	Low - medium	Partially oriented, very high coercive force, hard, brittle, non-conductor
Ceramic5,7,8	2.8- 3.5×10^6	3.5- 3.8×10^3	2.5- 3.3×10^3	$-0.2\%/^{\circ}\text{C}$	Medium	Fully oriented very high coercive force hard, brittle, non-conductor
Cunife	1.4×10^6	5.5×10^3	0.53×10^3	-	Medium	Ductile, can cold form and machined
Fe-Cr	5.25×10^6	13.5×10^3	0.6×10^3	-	Medium	Can machined prior to final aging treatment
lastic	0.2- 1.2×10^6	1.4- 3×10^3	0.45×10^3	$-0.2\%/^{\circ}\text{C}$	Lowest	Can be molded, stamp, machined

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ตัว Hall sensor

Hall sensor ในครั้งนี้ใช้ sensor เบอร์ ss495A รายละเอียดคือ ss495A เป็น sensor ที่มีขนาดเล็กมีประโยชน์หลายอย่างซึ่งทำงานโดยอาศัยสนามแม่เหล็กจากแม่เหล็กถาวรหรือเครื่องมือแม่เหล็กไฟฟ้า อัตราส่วนของ output แรงดันที่ออกจาก supply แรงดันจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของความแข็งแรงของสนามแม่เหล็ก

การประกอบกันเป็นวงจรเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้คงที่ แสงที่ออกมาจะเท่ากันและมีความแม่นยำสูงทำงานที่อุณหภูมิ -40°C ถึง $+150^{\circ}\text{C}$ การตรวจจับแท่งโลหะจะมีผลเล็กน้อยต่อเครื่องจักร หรือ ความร้อนมีผลต่อ output ตอบสนองทั้งด้านบวกและด้านลบ ทั้งแม่เหล็กขั้วบวกและลบ ใช้กับงานที่สัญญาณที่ความแม่นยำสูงมาก การสร้างเป็นวงจรไฟฟ้าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะเสถียรภาพ ความไวก็เช่นกัน แสงจะสม่ำเสมอมีฟิล์มบางๆป้องกันกระแสไฟฟ้า ซึ่งมีความแม่นยำสูง

3.2 การนำแม่เหล็กมาประยุกต์ใช้ร่วมกับ Hall sensor

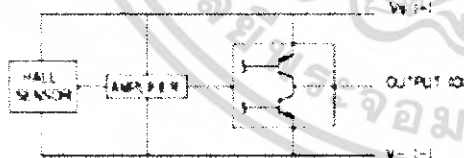
จากตารางที่ 3.1 เราได้ทราบถึงค่า Magnetic Range ของ Hall Sensor เราจึงทราบถึงชนิดของแม่เหล็กที่ต้องนำมาใช้ให้เหมาะสมกับ Hall Sensor

การเลือกแม่เหล็กเราได้เลือกแม่เหล็กชนิด Plastic มีค่า Maximum Energy อยู่ที่ 0.2 ถึง 1.2×10^{-3} Gauss ซึ่งเหมาะสมกับ Hall Sensor เบอร์ ss495A ซึ่งมีค่า Magnetic Range ที่ ± 670 Gauss

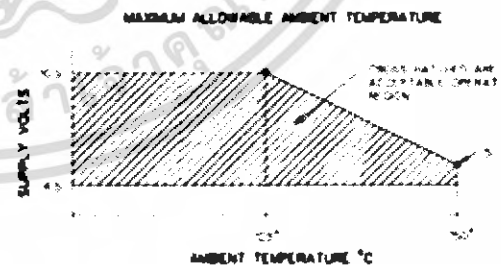
ตารางที่ 3.2 สเปคของฮอลล์เซนเซอร์

Calalog Listing Type	Ss495A	Ss495A1	Ss495A2	Ss495B	Ss496A	Ss496A1	Ss496B
Supply voltage(VDC)	4.5 to10.5						
Supply Current@25 °C (mA) Type	7.0						
Max	8.7						
Output type(Sink or Source)	Rotometric						
Output Current (mA)							
Typ. Sink or Source Vs>0.5	1.5						
Min.Source Vs>0.5	1.0						
Min. Sink Vs>0.5	0.6						
Min.Sink Vs>0.5	1.0						
Operating Temperature	-40to+150°C(-40to+302°F)						
Magnetic Range .Gauss Type	±670	±670	±670	±670	±840	±840	±840
Min	±600	±600	±600	±600	±750	±750	±750
Output Voltage Span Type	0.2to(Vs-0.2)						
Min	0.4to(Vs-0.4)						
Null(Output@ 0 Gauss,V)	2.50±0.075	2.50±0.075	2.50±0.100	2.50±0.150	2.50±0.075	2.50±0.075	2.50±0.075
Sensitivity(mV/G)	3.125±0.125	3.125±0.094	3.125±0.156	3.125±0.250	3.125±0.100	3.125±0.075	3.125±0.075
Linearity(% ofSpan) Type	-1.0						
Max	-1.5						
Temperature	±0.06	±0.04	±0.07	±0.06	±0.048	±0.03	±0.03
Null Drift (%/°C)							
Sensitivity Drift (%/°C)							
≥25°Max	-0.01,+0.05	-0.02,+0.06	-0.02,+0.06	-0.01,+0.05	-0.01,+0.05	-0.02,+0.06	-0.02,+0.06
<25°Max	0.0,+0.06	0.0,+0.06	-0.01,+0.07	0.0,+0.06	0.0,+0.06	0.02,+0.06	0.02,+0.06

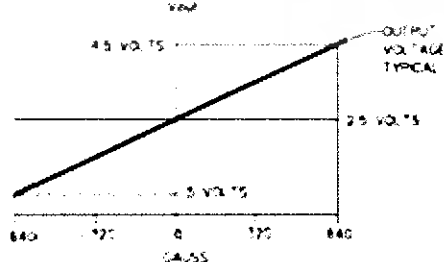
BLOCK DIAGRAM



MAXIMUM SUPPLY VOLTAGE vs. TEMPERATURE



TRANSFER CHARACTERISTICS at Vs = 5.0 VDC



รูปที่ 3.2 Block Diagram ของ Hall sensor ss495A

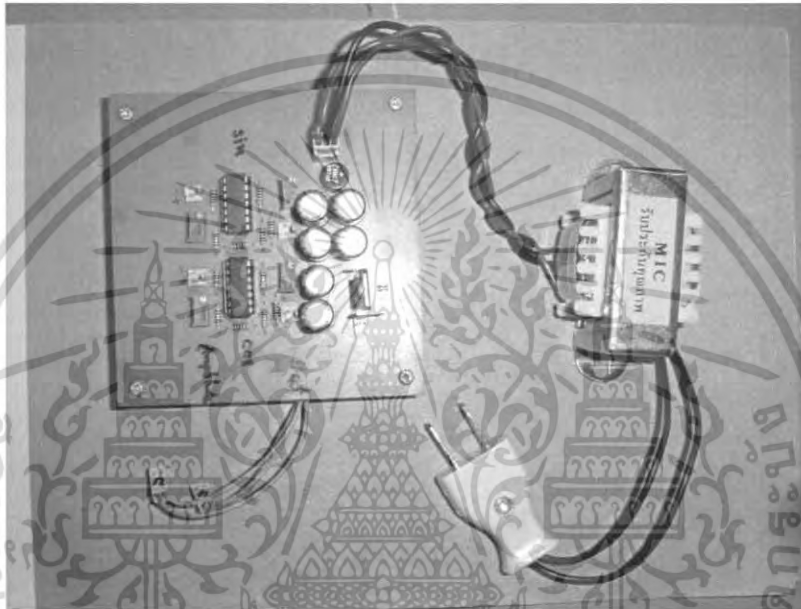
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเลือกมอเตอร์

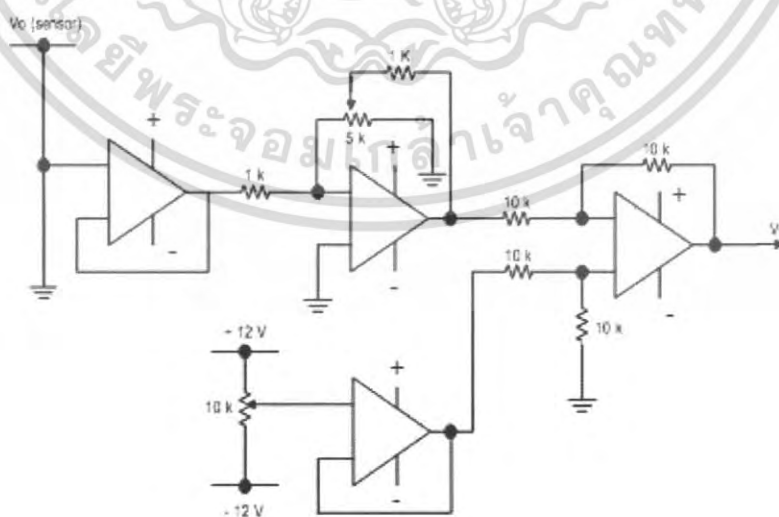
ก็ต้องให้สอดคล้องกับการใช้งาน สามารถใช้มอเตอร์ได้ทุกชนิด

3.4 การออกแบบวงจรปรับระดับ Offset และ Amplitude

เนื่องจากภายในไมโครคอนโทรลเลอร์มีแรงดันอ้างอิง อยู่ที่ 2.5 V. เราจึงต้องทำการสร้างวงจรปรับระดับ Offset และ Amplitude เพื่อใช้ในการปรับระดับสัญญาณที่ออกจาก Hall Sensor ให้มีค่า Maximum Voltage อยู่ที่ 2.5 V และ Minimum Voltage อยู่ที่ 0 V



รูปที่ 3.3 วงจรปรับระดับ Offset และ Amplitude



รูปที่ 3.4 วงจรภายในของวงจรปรับระดับ Offset และ Amplitude

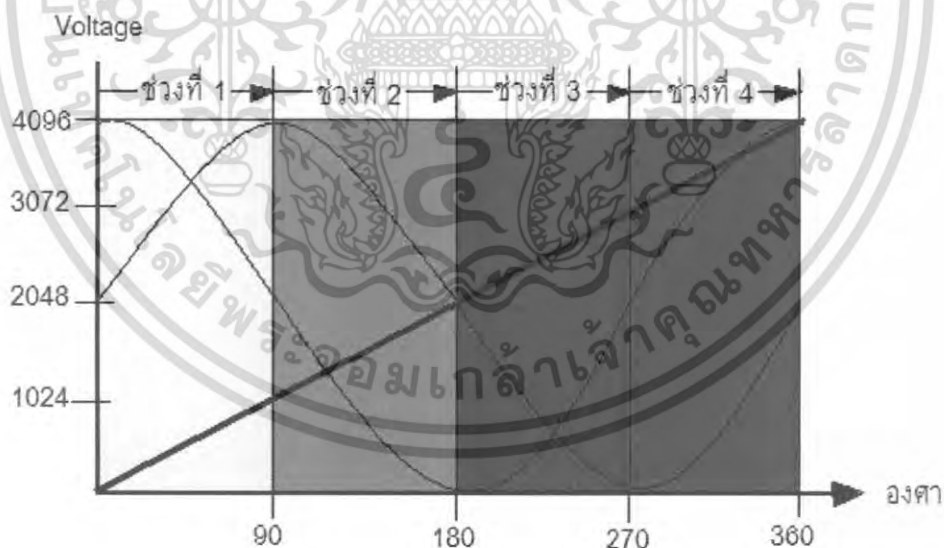
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบโปรแกรม

3.5.1 การกำหนดเงื่อนไขในการเขียนโปรแกรม

โดยเก็บค่าทั้งหมดในตารางมีทั้งหมด 4096 ค่า เพราะ MCS 51 เบอร์ ADuC832 บิตมี 12 บิต คือ $2^{12} = 4096$ แบ่งออกเป็น 4 ช่วง ดังรูปที่ 3.4 นำค่า SIN θ ที่ได้แปลงจากค่า Analog เป็น Digital จะได้เป็นค่าที่ตำแหน่ง 0 – 360 แต่จะมีค่าที่ซ้ำกัน การเก็บ look up table นั้น จาก SIN เราสามารถเก็บได้ 2 ช่วง คือการเก็บ Look up table ในช่วง 0 – 90 ค่าที่ได้จะมีค่าตั้งแต่ 0 – 1024 ซึ่งการเก็บ look up table นั้นใช้เลขฐาน 10 การเก็บ และ Look up table ในช่วง 270 – 180 ค่าที่ได้จะมีค่าตั้งแต่ 2048 – 3072 ซึ่งการเก็บ look up table นั้นใช้เลขฐาน 10 โดยจากรูปที่ 3.4 สร้างเงื่อนไขได้ ดังนี้

1. ช่วงที่ 1 คือ SIN > 2047 และ COS > 2047 นำค่าที่ได้แปลงเป็นฐาน 10 และเก็บใน look up table ได้เลย
2. ช่วงที่ 2 คือ SIN > 2047 และ COS < 2047 นำค่า 2047 – ค่าช่วงที่ 1 แล้วจึงนำค่าที่ได้แปลงเป็นฐาน 10 และ เก็บใน look up table
3. ช่วงที่ 3 คือ SIN < 2047 และ COS < 2047 นำค่าที่ได้แปลงเป็นฐาน 10 และเก็บใน look up table ได้เลย
4. ช่วงที่ 4 คือ SIN < 2047 และ COS > 2047 นำค่า 6134 – ค่าช่วงที่ 3 แล้วจึงนำค่าที่ได้แปลงเป็นฐาน 10 และ เก็บใน look up table



รูปที่ 3.5 กราฟบอกลักษณะเอาท์พุทโดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 การคำนวณ ค่าของ Look up table โดยใช้ MATHLAB

การใช้โปรแกรม MATHLAB คำนวณค่าที่จะนำไปเก็บใน look up table ในช่วงที่ 1 ตั้งแต่ตำแหน่งที่ 0 – 90 องศา จะได้ค่าตั้งแต่ 0 – 1024 ซึ่งมีจำนวน 2047 ค่า

```

1-  clc;
2-  clear;
3-  for a = 0 : 2047
4-      h = a;
5-      b = h/2047;
6-      y = asin (b);
7-      z = y * 651.6;
8-      z = round(z);
9-      fprintf('%e',z);
10-     fprintf(' \n');
11- end
  
```

sinnn_BIN_0_90.m sinnn_BIN_108_270.m
script Ln 11 Col 4

รูปที่ 3.6 การคำนวณค่า Look up table ในช่วง 1

การใช้โปรแกรม MATHLAB คำนวณค่าที่จะนำไปเก็บใน look up table ในช่วงที่ 3 ตั้งแต่ตำแหน่งที่ 180 – 270 องศา จะได้ค่าตั้งแต่ 2048 – 3072 ซึ่งมีจำนวน 2047 ค่า

```

1-  clc;
2-  clear;
3-  for a = 0 : 2047
4-      h = 2047 - a;
5-      b = h/2047;
6-      y = asin (b);
7-      z = y * 651.6;
8-      z = round(z);
9-      z = 2048 +z;
10-     fprintf('%e',z);
11-     fprintf(' \n');
12- end
  
```

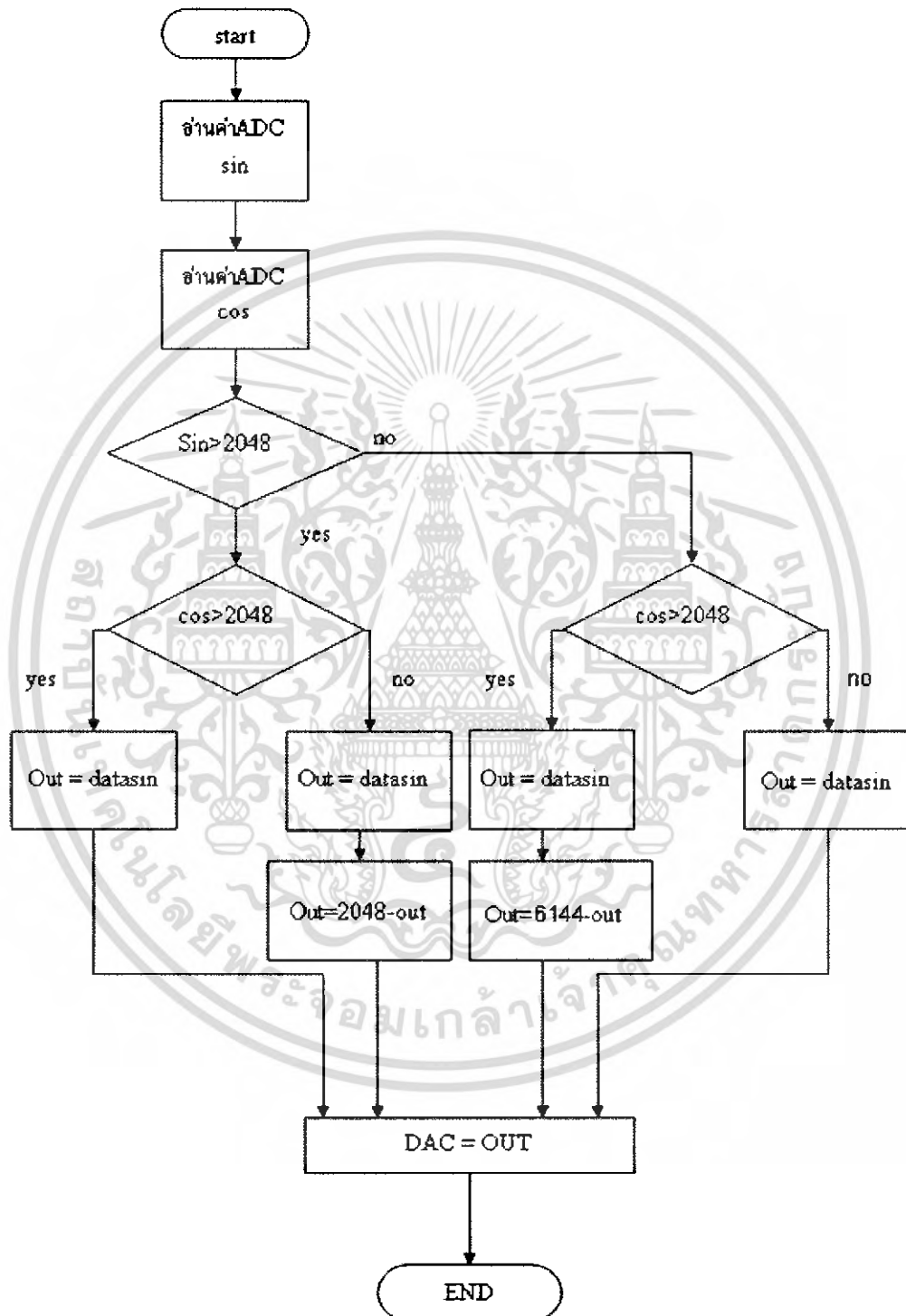
sinnn_BIN_0_90.m sinnn_BIN_108_270.m
script Ln 12 Col 4

รูปที่ 3.7 การคำนวณค่า Look up table ในช่วง 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 Flow Chart

หลังจากที่ทำการออกแบบเงื่อนไขโปรแกรมแล้ว ได้ทำการเขียน Flow chart ของการเขียนโปรแกรมภาษา C ดังนี้



รูปที่ 3.8 Flow Chart ของโปรแกรมตรวจจับตำแหน่งเครื่องจักรกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 คำสั่งของโปรแกรม

จากการที่เราได้เขียน Flow Chart การทำงานของโปรแกรมแล้ว เราจึงได้นำมาเขียนโปรแกรมทั้งหมด ดังนี้

```
#include <reg52.h>
sfr ADCCON1      = 0xEF;
sfr ADCCON2      = 0xDB;
sfr ADCDATAL     = 0xD9;
sfr ADCDATAH     = 0xDA;
sfr DACCON       = 0xFD;
sfr DACQL        = 0xF9;
sfr DACQH        = 0xFA;
sfr DAC1L        = 0xFB;
sfr DAC1H        = 0xFC;
sfr PLLCON       = 0xD7;
code unsigned int display[]={
////////////////////////////////////
DATA
////////////////////////////////////
};
void main(void)
{
  unsigned int i,s,SIN,COS ;
  unsigned char l ,h,ADCON_STO, STO_L,STO_H;
  DACCON = 0x1F;
  PLLCON = 0x50;
  i=0;
  while(1)
  {
    ADCCON1 = 0x88;
    // GET SIN ADC 4
    ADCCON2 = 0x14;
    ADCON_STO = ADCCON2 & 0x10 ;
    while (ADCON_STO == 0x10)
    {
      ADCON_STO = ADCCON2 & 0x10;
    }

    STO_L = ADCDATAL ;
    STO_H = ADCDATAH & 0x0F ;
    DAC1H = STO_H ;
    DAC1L = STO_L ;
    i = STO_H ;
    i = i << 8 ;
    SIN = i + STO_L;
    // END SIN
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

STO_H = ADCDATAH & 0x0F ;
//DACOH = STO_H ;
//DACOL = STO_L ;
i      = STO_H ;
i      = i << 8 ;
COS    = i + STO_L;
// END COS

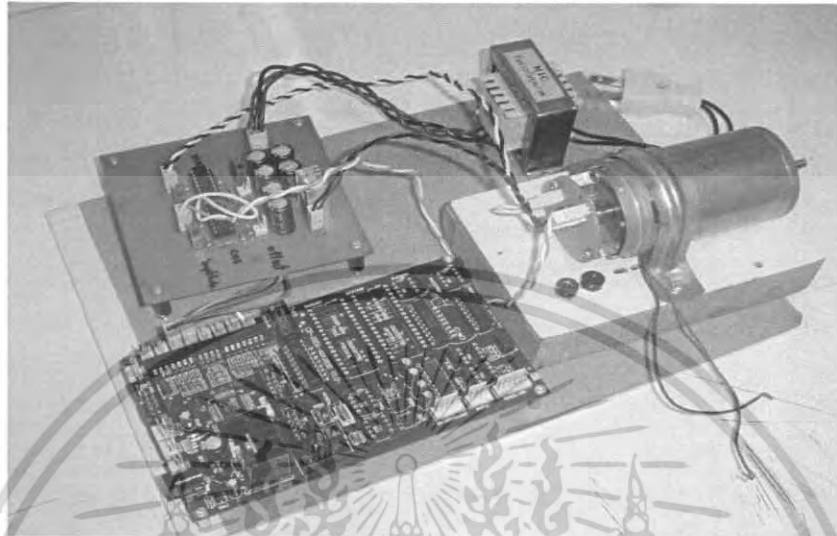
if ( SIN > 2047 )
{
if (COS > 2047 )
{
s = display[SIN];
}
else s = 2047 - display[SIN] ;
}
else
{
if (COS > 2047 )
{
s = 6143 - display[SIN];
}
else s = display[SIN] ;
}
// s = display[COS] ;
l = s >> 0;
h = s >> 8 ;
P2 = h ;
P0 = l ;
DACOH = h ;
DACOL = l ;
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การนำ Hardware ในส่วนต่าง ๆ มาประกอบเข้าด้วยกัน

หลังจากที่เราได้ทำการออกแบบ Hardware ในส่วนต่าง ๆ จนครบแล้ว เราจึงนำมาประกอบเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 3.8 ซึ่งจะนำไปใช้ในการทดลองครั้งที่ 4, 5, 6



รูปที่ 3.9 ลักษณะ Hardware ที่สมบูรณ์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในปัจจุบันการทำงานของเครื่องจักรกลไม่สามารถบอกตำแหน่งในการทำงานได้ จึงได้มีการศึกษา Hall Sensor ควบคู่ไปกับแม่เหล็กเพื่อทำเป็นอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งการทำงานของเครื่องจักรกล

จากการทดลองแม่เหล็กและ Sensor ได้ทราบโครงสร้างและชนิดของ Sensor หลักการทำงานของ Sensor และทราบถึงข้อและข้อดีของแม่เหล็ก จากหลักการที่กล่าวมา เราได้นำมาทำการทดสอบร่วมกับมอเตอร์ซึ่งเป็นส่วนของ Hardware

หลังจากนั้นเราได้นำสัญญาณเอาต์พุตของ Hall Sensor ไปประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อนำสัญญาณเอาต์พุตไปทำการตรวจจับตำแหน่งซึ่งเป็นส่วนของ Software

4.1 การทดลองครั้งที่ 1 การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของแม่เหล็กและแรงดันเอาต์พุตของ Hall Sensor

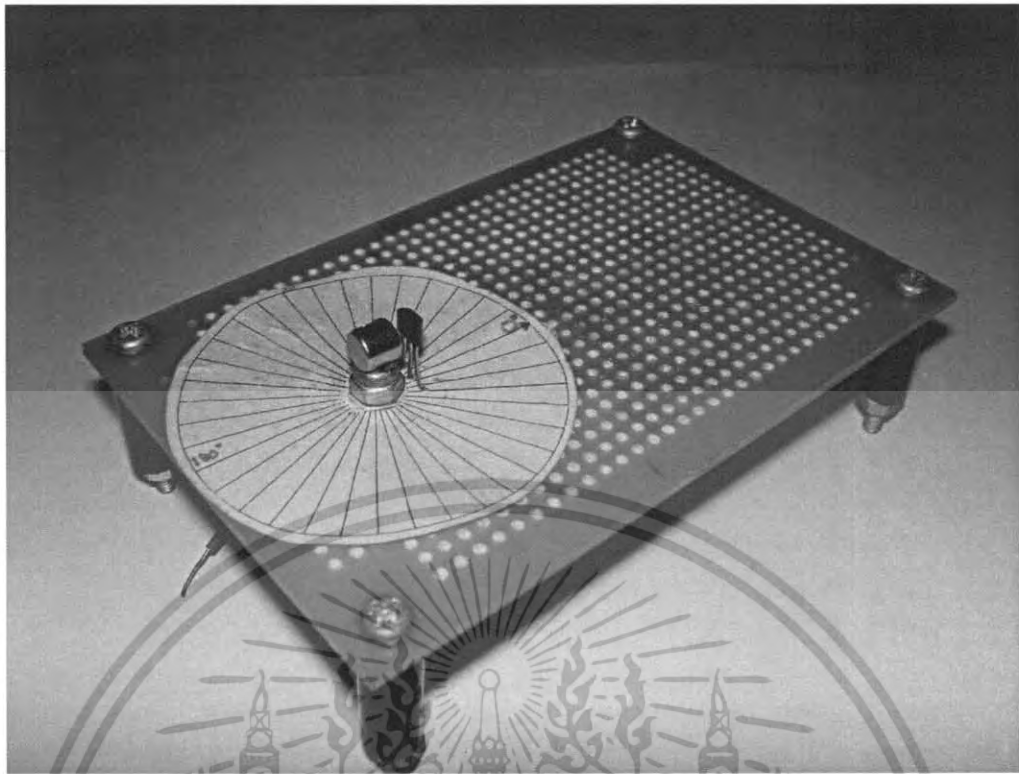
4.1.1 จุดประสงค์

1. เพื่อได้ทราบการทำงานของ Hall Sensor และนำไปประยุกต์ใช้งานได้
2. ได้ทราบถึงข้อและชนิดของแม่เหล็กที่เหมาะสม
3. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของแม่เหล็กและแรงดันเอาต์พุตของ

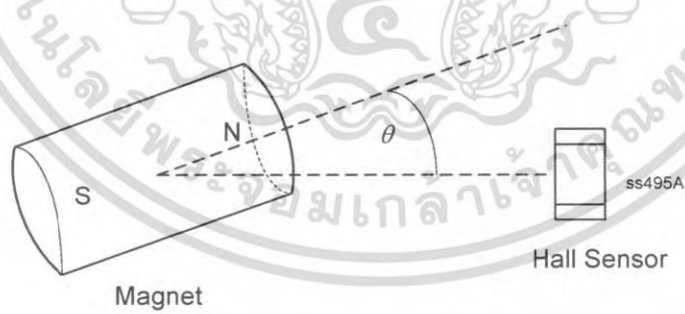
Hall Sensor

4.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้งาน

- | | |
|-----------------------------------|-----------|
| 1. แม่เหล็ก (ขั้วแม่เหล็กหัวท้าย) | 1 ตัว |
| 2. Hall Sensor | 2 ตัว |
| 3. Oscilloscope | 1 เครื่อง |
| 4. Dc Supply | 1 เครื่อง |



รูปที่ 4.1 การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของแม่เหล็กและแรงดันเอาต์พุตของ Hall Sensor



รูปที่ 4.2 แสดง Diagram ของการทดสอบและแนวของสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

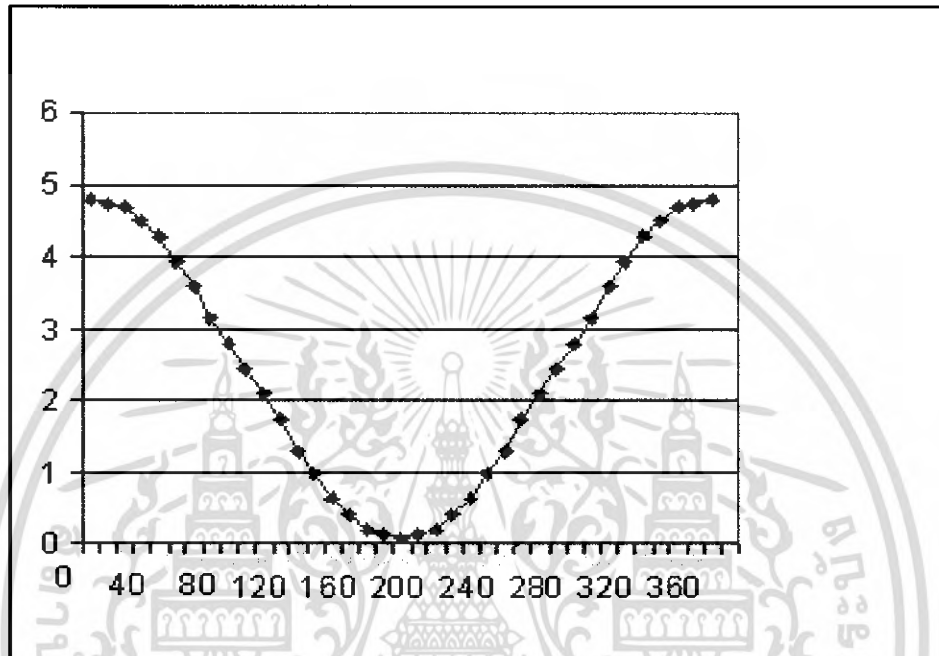
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองที่ 1

θ	จำนวนครั้งที่ทดลอง					ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
0	4.82	4.76	4.8	4.78	4.84	4.8
10	4.76	4.72	4.74	4.72	4.8	4.748
20	4.7	4.66	4.68	4.66	4.74	4.688
30	4.5	4.44	4.48	4.46	4.52	4.48
40	4.28	4.22	4.26	4.24	4.32	4.264
50	3.92	3.88	3.9	3.9	3.94	3.908
60	3.62	3.54	3.58	3.56	3.64	3.588
70	3.16	3.14	3.14	3.12	3.18	3.148
80	2.8	2.78	2.8	2.76	2.82	2.792
90	2.46	2.4	2.44	2.44	2.48	2.444
100	2.12	2.06	2.1	2.06	2.14	2.096
110	1.76	1.7	1.74	1.72	1.78	1.74
120	1.32	1.26	1.3	1.28	1.34	1.3
130	1	0.94	0.98	0.96	1.02	0.98
140	0.64	0.6	0.62	0.6	0.66	0.624
150	0.42	0.38	0.4	0.38	0.46	0.408
160	0.22	0.16	0.2	0.18	0.24	0.2
170	0.16	0.1	0.14	0.12	0.18	0.14
180	0.12	0.06	0.08	0.06	0.12	0.088
190	0.16	0.1	0.14	0.12	0.18	0.14
200	0.22	0.16	0.2	0.18	0.24	0.2
210	0.44	0.38	0.4	0.38	0.44	0.408
220	0.64	0.6	0.62	0.6	0.66	0.624
230	1.02	0.96	0.98	0.96	0.98	0.98
240	1.32	1.28	1.3	1.28	1.34	1.3
250	1.76	1.74	1.74	1.72	1.74	1.74
260	2.12	2.08	2.1	2.06	2.12	2.096
270	2.46	2.42	2.44	2.42	2.48	2.444
280	2.84	2.76	2.78	2.8	2.78	2.792
290	3.16	3.12	3.16	3.12	3.18	3.148
300	3.6	3.54	3.58	3.6	3.62	3.588
310	3.92	3.9	3.9	3.88	3.94	3.908
320	4.28	4.24	4.26	4.28	4.26	4.264
330	4.5	4.44	4.48	4.46	4.52	4.48
340	4.7	4.64	4.72	4.66	4.72	4.688

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ผลการทดลองที่

θ	จำนวนครั้งที่ทดลอง					ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
350	4.76	4.74	4.74	4.72	4.78	4.748
360	4.8	4.8	4.78	4.82	4.8	4.8



รูปที่ 4.3 กราฟการทดลองที่ 1

4.1.3 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อเรานำตัวแม่เหล็กไปตรวจจับเราจะสามารถรู้ตัวของแม่เหล็กได้โดยถ้าค่าสนามแม่เหล็กเป็นบวกแสดงว่าเป็นขั้วได้ และ เมื่อสนามแม่เหล็กติดลบแสดงว่าเป็นขั้วเหนือจากอุปกรณ์ตรวจจับเราได้นำ Hall Sensor ห่างจากแม่เหล็ก 3 mm. ซึ่งแม่เหล็กที่นำมาทดสอบจะยึดกับจุดหมุนซึ่งในการทดลองจะหมุนทีละ 10 องศา เราจะได้ค่าแรงดันออกมาดังในตารางการทดลองซึ่งเมื่อนำค่าที่ได้มา plot จะได้กราฟเป็นรูปคลื่นไซน์ ดังรูป จะเห็นได้ว่ารูปคลื่นเป็น cosine ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของแม่เหล็กกับแรงดันเอาต์พุต คือ เมื่อแม่เหล็กขั้วได้อยู่ที่ 0 องศา ทำให้เซนเซอร์ได้รับสนามแม่เหล็กบวกที่ออกจากขั้วได้ทำให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าเป็นบวกสูงสุดเมื่อเราทำการหมุนแม่เหล็กทีละ 10 องศา ทำให้ทำให้สนามแม่เหล็กที่เซนเซอร์ได้รับมีค่าน้อยลงทำให้แรงดันเอาต์พุตน้อยลง และเมื่อเราหมุนตำแหน่งของแม่เหล็กจนขั้วเหนือมาอยู่ที่ 0 องศา ทำให้เซนเซอร์ได้รับสนามแม่เหล็กลบทำให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าต่ำสุดและจากกราฟเราจะเห็นว่าที่แต่ละแรงดันจะทราบตำแหน่งของแม่เหล็กถึง 2 ค่าซึ่งเราไม่รู้ว่าจะตำแหน่งใดเป็นมุมที่แท้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 ปัญหาและอุปสรรค

1. ไม่เคยศึกษาเกี่ยวกับเรื่อง Hall Sensor มาก่อนจึงทำให้มีปัญหาในการเลือกชนิดของ Hall Sensor
2. การทำงานของ Hall Sensor และแม่เหล็กมีความละเอียดจึงทำให้ใช้เวลาในการทดสอบนาน

4.2 การทดลองครั้งที่ 2 การทดสอบหาตำแหน่งของแม่เหล็กโดยการใช้ Hall Sensor 2 ตัว

4.2.1 จุดประสงค์

1. เพื่อได้ทราบการทำงานของ Hall Sensor และนำไปประยุกต์ใช้งานได้
2. เพื่อทดสอบหาตำแหน่งของโรเตอร์โดยการใช้ Hall Sensor 2 ตัว

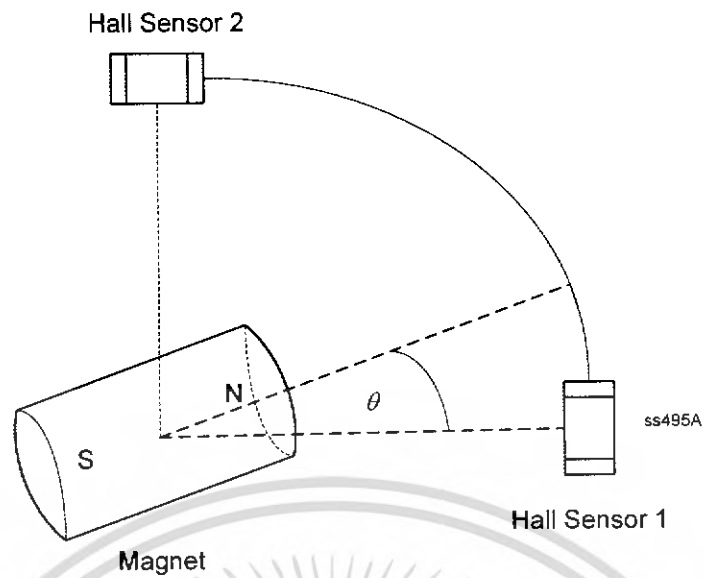
4.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้งาน

- | | |
|-----------------------------------|-----------|
| 1. แม่เหล็ก (ขั้วแม่เหล็กหัวท้าย) | 1 ตัว |
| 2. Hall Sensor | 2 ตัว |
| 3. Oscilloscope | 1 เครื่อง |
| 4. D.C. Supply | 1 เครื่อง |



รูปที่ 4.4 การทดสอบหาตำแหน่งของแม่เหล็กโดยการใช้ Hall Sensor 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดง Diagram ของการทดสอบและแนวของสนามแม่เหล็ก

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองที่ 2 ของ Sensor ตัวที่ 1 (0 องศา)

θ	จำนวนครั้งที่ทดลอง					ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
0	4.82	4.76	4.8	4.78	4.84	4.8
10	4.76	4.72	4.74	4.72	4.8	4.748
20	4.7	4.66	4.68	4.66	4.74	4.688
30	4.5	4.44	4.48	4.46	4.52	4.48
40	4.28	4.22	4.26	4.24	4.32	4.264
50	3.92	3.88	3.9	3.9	3.94	3.908
60	3.62	3.54	3.58	3.56	3.64	3.588
70	3.16	3.14	3.14	3.12	3.18	3.148
80	2.8	2.78	2.8	2.76	2.82	2.792
90	2.46	2.4	2.44	2.44	2.48	2.444
100	2.12	2.06	2.1	2.06	2.14	2.096
110	1.76	1.7	1.74	1.72	1.78	1.74
120	1.32	1.26	1.3	1.28	1.34	1.3
130	1	0.94	0.98	0.96	1.02	0.98
140	0.64	0.6	0.62	0.6	0.66	0.624
150	0.42	0.38	0.4	0.38	0.46	0.408
160	0.22	0.16	0.2	0.18	0.24	0.2
170	0.16	0.1	0.14	0.12	0.18	0.14
180	0.12	0.06	0.08	0.06	0.12	0.088

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2(ต่อ) ผลการทดลองที่ 2 ของ Sensor ตัวที่ 1 (0 องศา)

θ	จำนวนครั้งที่ทดลอง					ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
190	0.16	0.1	0.14	0.12	0.18	0.14
200	0.22	0.16	0.2	0.18	0.24	0.2
210	0.44	0.38	0.4	0.38	0.44	0.408
220	0.64	0.6	0.62	0.6	0.66	0.624
230	1.02	0.96	0.98	0.96	0.98	0.98
240	1.32	1.28	1.3	1.28	1.34	1.3
250	1.76	1.74	1.74	1.72	1.74	1.74
260	2.12	2.08	2.1	2.06	2.12	2.096
270	2.46	2.42	2.44	2.42	2.48	2.444
280	2.84	2.76	2.78	2.8	2.78	2.792
290	3.16	3.12	3.16	3.12	3.18	3.148
300	3.6	3.54	3.58	3.6	3.62	3.588
310	3.92	3.9	3.9	3.88	3.94	3.908
320	4.28	4.24	4.26	4.28	4.26	4.264
330	4.5	4.44	4.48	4.46	4.52	4.48
340	4.7	4.64	4.72	4.66	4.72	4.688
350	4.76	4.74	4.74	4.72	4.78	4.748
360	4.8	4.8	4.78	4.82	4.8	4.8

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองที่ 2 ของ Sensor ตัวที่ 2 (90 องศา)

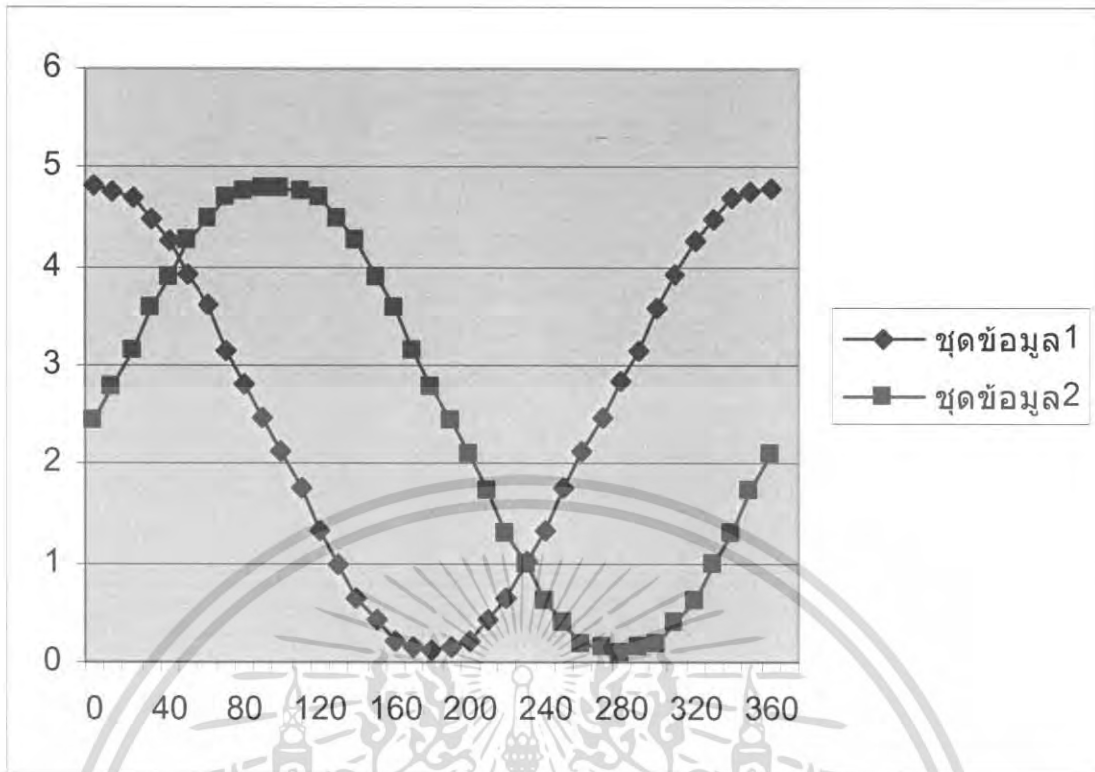
θ	จำนวนครั้งที่ทดลอง					ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
0	2.46	2.4	2.44	2.44	2.48	2.444
10	2.8	2.78	2.8	2.76	2.82	2.792
20	3.16	3.14	3.14	3.12	3.18	3.148
30	3.62	3.54	3.58	3.56	3.64	3.588
40	3.92	3.88	3.9	3.9	3.94	3.908
50	4.28	4.22	4.26	4.24	4.32	4.264
60	4.5	4.44	4.48	4.46	4.52	4.48
70	4.7	4.66	4.68	4.66	4.74	4.688
80	4.76	4.72	4.74	4.72	4.8	4.748
90	4.82	4.76	4.8	4.78	4.84	4.8
100	4.8	4.8	4.78	4.82	4.8	4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3(ต่อ) ผลการทดลองที่ 2 ของ Sensor ตัวที่ 2 (90 องศา)

θ	จำนวนครั้งที่ทดลอง					ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
110	4.76	4.74	4.74	4.72	4.78	4.748
120	4.7	4.64	4.72	4.66	4.72	4.688
130	4.5	4.44	4.48	4.46	4.52	4.48
140	4.28	4.24	4.26	4.28	4.26	4.264
150	3.92	3.9	3.9	3.88	3.94	3.908
160	3.6	3.54	3.58	3.6	3.62	3.588
170	3.16	3.12	3.16	3.12	3.18	3.148
180	2.84	2.76	2.78	2.8	2.78	2.792
190	2.46	2.42	2.44	2.42	2.48	2.444
200	2.12	2.08	2.1	2.06	2.12	2.096
210	1.76	1.74	1.74	1.72	1.74	1.74
220	1.32	1.28	1.3	1.28	1.34	1.3
230	1.02	0.96	0.98	0.96	0.98	0.98
240	0.64	0.6	0.62	0.6	0.66	0.624
250	0.44	0.38	0.4	0.38	0.44	0.408
260	0.22	0.16	0.2	0.18	0.24	0.2
270	0.16	0.1	0.14	0.12	0.18	0.14
280	0.12	0.06	0.08	0.06	0.12	0.088
290	0.16	0.1	0.14	0.12	0.18	0.14
300	0.22	0.16	0.2	0.18	0.24	0.2
310	0.42	0.38	0.4	0.38	0.46	0.408
320	0.64	0.6	0.62	0.6	0.66	0.624
330	1	0.94	0.98	0.96	1.02	0.98
340	1.32	1.26	1.3	1.28	1.34	1.3
350	1.76	1.7	1.74	1.72	1.78	1.74
360	2.12	2.06	2.1	2.06	2.14	2.096

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟการทดลองที่ 2

4.2.3 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อเรานำตัวแม่เหล็กไปตรวจจับเราจะสามารถรู้ตัวของแม่เหล็กได้โดยถ้าค่าสนามแม่เหล็กเป็นบวกแสดงว่าเป็นขั้วได้ และ เมื่อสนามแม่เหล็กติดลบแสดงว่าเป็นขั้วเหือจากอุปกรณ์ตรวจจับเราได้ นำ Sensor ห่างจากแม่เหล็ก 3 mm. ซึ่งแม่เหล็กที่นำมาทดสอบจะยึดกับจุดหมุนซึ่งในการทดลองจะหมุนทีละ 10 องศาเราจะได้ค่าแรงดันออกมาดังในตารางการทดลองซึ่งเมื่อนำค่าที่ได้มา plot จะได้กราฟเป็นรูปคลื่นไซน์ดังรูปจากการทดลองที่ 1 เราไม่สามารถหาตำแหน่งที่แท้จริงของแม่เหล็กได้เราจึงเพิ่ม Hall Sensor เป็น 2 ตัวซึ่ง เซนเซอร์ตัวที่ 2 ล้าหลังตัวที่ 1 เป็นมุม 90 องศา ซึ่งแรงดันเอาท์พุทของเซนเซอร์ตัวที่ 1 มีลักษณะเป็น Cosine และแรงดันของเซนเซอร์ตัวที่ 2 เป็น Sine ดังนั้นเราสามารถหาตำแหน่งของแม่เหล็กได้

4.2.4 ปัญหาและอุปสรรค

- 1.การทำงานของ Hall Sensor และแม่เหล็กมีความละเอียดจึงทำให้ใช้เวลาในการทดสอบนาน
- 2.ในการวางตัว Sensor 2 ตัวนั้น ต้องวางให้ห่างของทั้ง 2 ตัวเท่ากัน และความสูงต้องเท่ากันด้วย เพราะถ้าไม่เท่ากันจะได้ Sin wave ที่ไม่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองที่ 3 การทดสอบหาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความเร็วโรเตอร์ที่มีผลต่อรูปคลื่นไซน์

4.3.1 จุดประสงค์

1. เพื่อได้ทราบการทำงานของ Hall Sensor และนำไปประยุกต์ใช้งานได้
2. ได้ทราบถึงข้อและชนิดของแม่เหล็กที่เหมาะสม
3. ได้ทราบการทำงานของ Hall Sensor ร่วมกับแม่เหล็กโดยการต่อวงจรทดลอง เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างเครื่องตรวจจับตำแหน่งอย่างง่าย

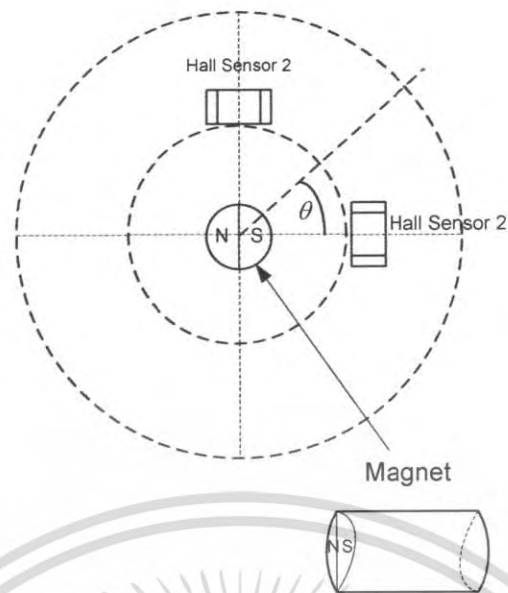
4.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้งาน

- | | |
|--|-----------|
| 1. แม่เหล็ก (แบบ 2 ขั้วในแนวเส้นรอบวง) | 1 ตัว |
| 2. Hall Sensor | 2 ตัว |
| 3. Oscilloscope | 1 เครื่อง |
| 4. D.C Supply | 1 เครื่อง |
| 5. Dc motor | 1 ตัว |

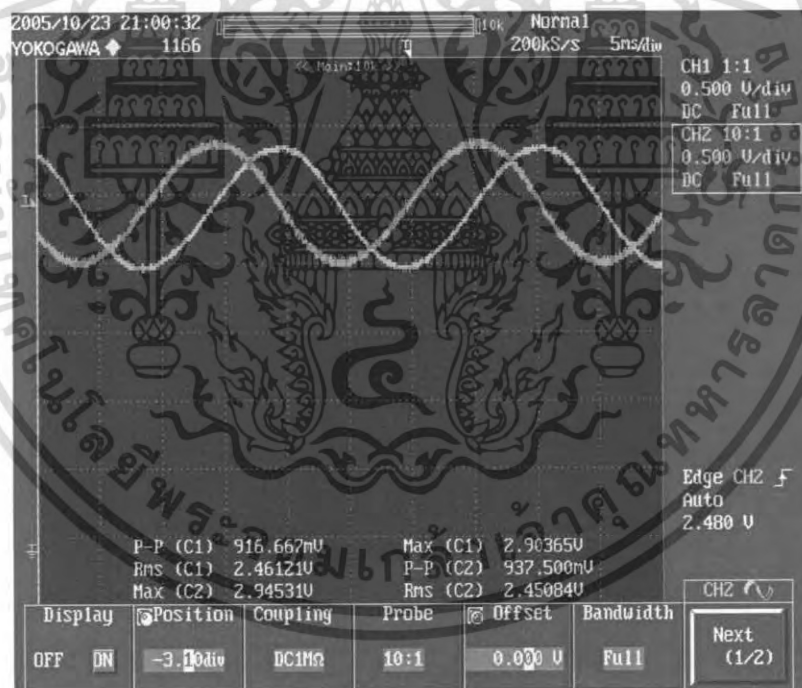


รูปที่ 4.7 การทดสอบหาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความเร็วโรเตอร์ที่มีผลต่อรูปคลื่นไซน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดง Diagram ของการทดสอบและแนวของสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 4.9 กราฟการทดสอบหาความสัมพันธ์ของความเร็รรอบของโรเตอร์ที่มีผลต่อรูปคลื่น

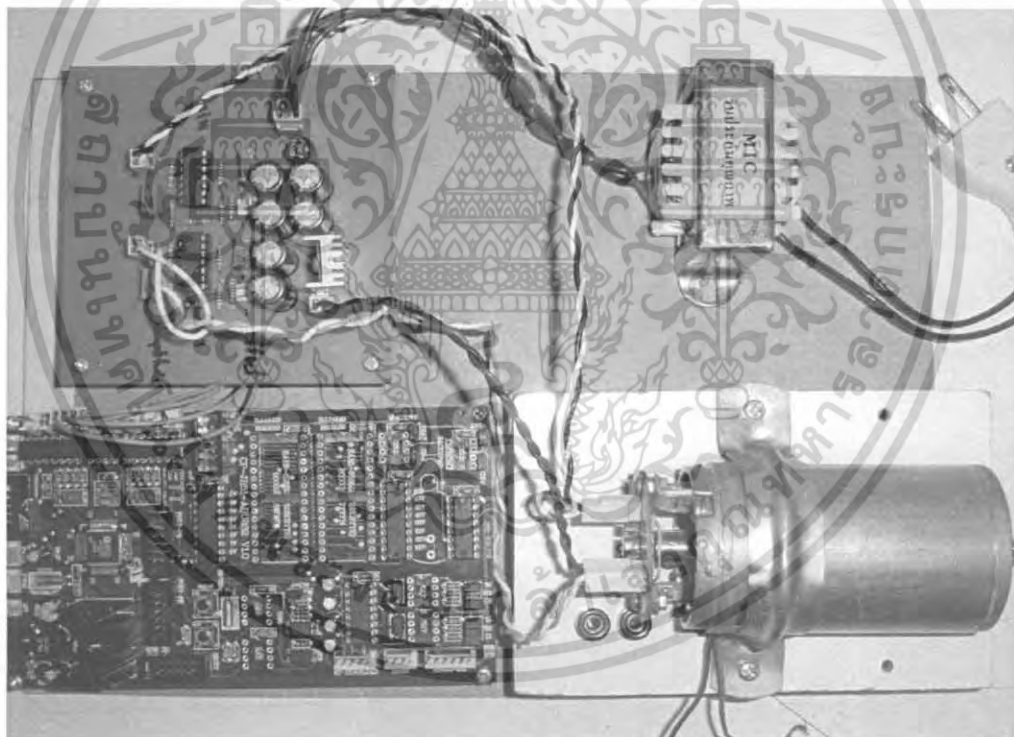
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 สรุปผลการทดลอง

เมื่อใช้มอเตอร์ในการหมุนค่าแรงดันเอาต์พุตที่ออกมาจะเป็นรูปคลื่นไซน์ โดยเราไม่ต้องนำค่าที่ละค่ามา Plot กราฟรูปที่ออกมาจะเป็นไซน์ที่สวยงาม เพราะการตรวจจับของฮอลล์เซนเซอร์จะมีความแม่นยำสูงขึ้นเพราะตำแหน่งของฮอลล์เซนเซอร์ และแม่เหล็กไม่มีความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบหาความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของโรเตอร์ที่มีผลต่อรูปคลื่นไซน์ โดยใช้ Hall sensor 2 ตัวจะเห็นว่าเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นทำให้ความถี่สูงขึ้นและเมื่อความเร็วรอบลดลงความถี่ลดลง

4.3.4 ปัญหาและอุปสรรค

1. การทำงานของ Hall Sensor และแม่เหล็กมีความละเอียดจึงทำให้ใช้เวลาในการทดสอบนาน
2. ในการวางตัว Hall Sensor 2 ตัวนั้น ต้องวางระยะห่างจากแม่เหล็กของทั้ง 2 ตัวเท่ากัน และ ความสูงต้องเท่ากันด้วย เพราะถ้าไม่เท่ากันจะได้ Sin wave ที่ไม่สมบูรณ์



รูปที่ 4.10 รูปการทดลองที่ 4, 5 และ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

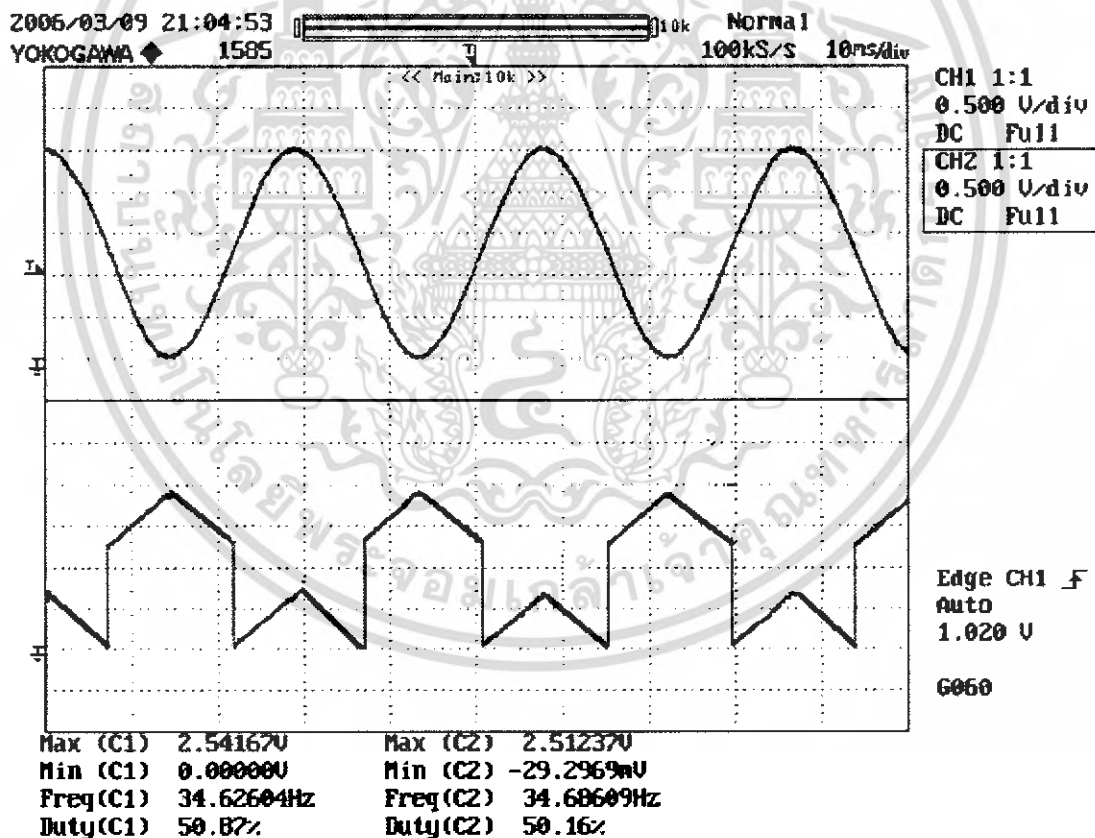
4.4 การทดลองที่ 4 ทำการป้อนโปรแกรมและทำการจ่ายสัญญาณ Sine เพียงสัญญาณเดียว

4.4.1 จุดประสงค์

1. เพื่อทดสอบการทำงานของโปรแกรมเมื่อป้อนกราฟ Sine เพียงอย่างเดียว
2. ได้ทราบถึง Output ที่ออกมาว่าเป็นลักษณะใด
3. ได้ทราบความ ไม่สมบูรณ์ของ Output เพื่อการปรับปรุงในการทดลองต่อไป

4.4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในงาน

- | | |
|---------------------------------------|-----------|
| 1. Hall Sensor | 2 ตัว |
| 2. Oscilloscope | 1 เครื่อง |
| 3. Supply Dc | 1 เครื่อง |
| 4. Dc motor | 1 ตัว |
| 5. วงจรปรับระดับ Offset และ Amplitude | |



รูปที่ 4.11 กราฟการทดลองที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 สรุปผลการทดลอง

จากกราฟการทดลองจะเห็นว่าเมื่อเราป้อนสัญญาณ Sine เพียงสัญญาณเดียว จะได้สัญญาณเอาต์พุตซึ่งมีลักษณะดังรูปซึ่งเราจะได้อ่านในช่วงที่ 1 และ ช่วงที่ 3 ที่ต้องการ แต่ ช่วงที่ 2 และ 4 ยังต้องทำการแก้ไขต่อไปโดยนำสัญญาณ Cosine เข้ามาเป็นเงื่อนไข

4.4.4 ปัญหาและอุปสรรค

1. สัญญาณเอาต์พุตยังไม่เป็นไปตามต้องการ
2. มีสัญญาณรบกวนที่เกิดจากวงจรปรับระดับ Offset และ Amplitude

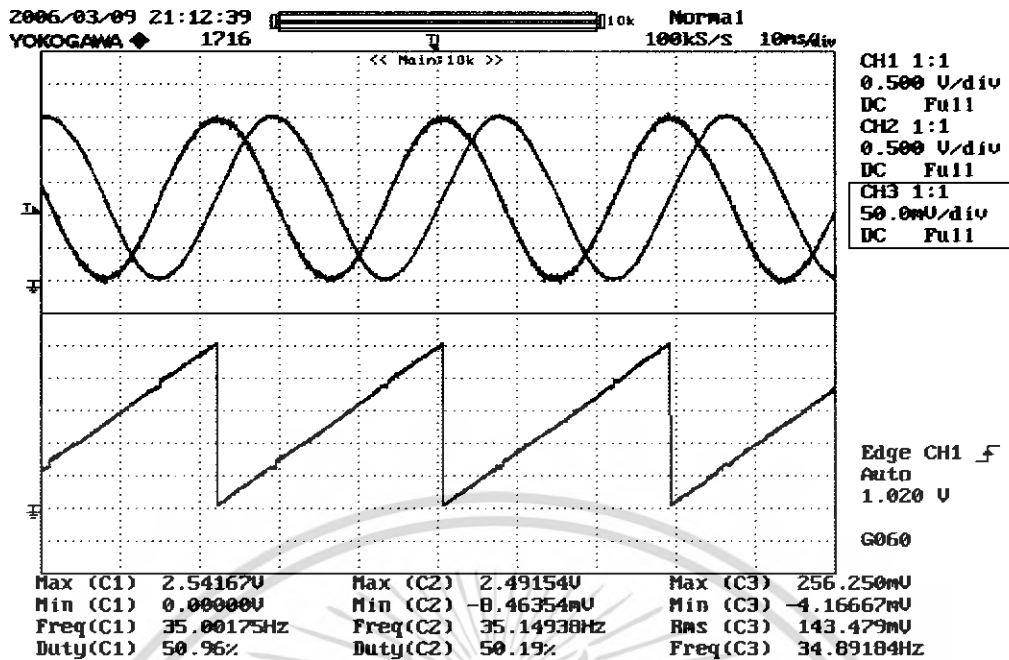
4.5 การทดลองที่ 5 ทำการป้อนโปรแกรมและทำการจ่ายสัญญาณ Sine และ Cosine

4.5.1 จุดประสงค์

1. เพื่อทดสอบการทำงานของโปรแกรมเมื่อป้อนกราฟ Sin และ Cosine
2. ได้ทราบถึง Output ที่ออกมาว่าเป็นลักษณะใด
3. ได้ทราบความ ไม่สมบูรณ์ของ Output เพื่อการปรับปรุงในการทดลองต่อไป

4.5.2 อุปกรณ์ที่ใช้งาน

- | | |
|---------------------------------------|-----------|
| 1. Hall Sensor | 2 ตัว |
| 2. Oscilloscope | 1 เครื่อง |
| 3. Supply Dc | 1 เครื่อง |
| 4. Dc motor | 1 ตัว |
| 5. วงจรปรับระดับ Offset และ Amplitude | |



รูปที่ 4.12 กราฟการทดลองที่ 5

4.5.3 สรุปผลการทดลอง

หลังจากที่เราได้ทำการป้อน Sine และ Cosine เข้าไปประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์ เราจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของกราฟในช่วงที่ 2 และ 4 ซึ่งเอาท์พุทจะมีลักษณะเป็น 3 เหลี่ยม แต่ยังมีคามผิดพลาดของรูปคลื่นอยู่ซึ่งมีสาเหตุมาจากแรงดันของเอาท์พุทที่ออกจากวงจรปรับระดับ Offset และ Amplitude มีความแตกต่างกับค่าแรงดันอ้างอิงภายใน (V_{REF}) จึงทำให้เกิดความผิดพลาดที่รอยต่อของแต่ละช่วงซึ่งจะได้มีการแก้ไขในการทดสอบครั้งต่อไป

4.5.4 ปัญหาและอุปสรรค

1. สัญญาณเอาท์พุทยังไม่เป็นไปตามต้องการ
2. เกิดการแยกของรอยต่อของแต่ละช่วง

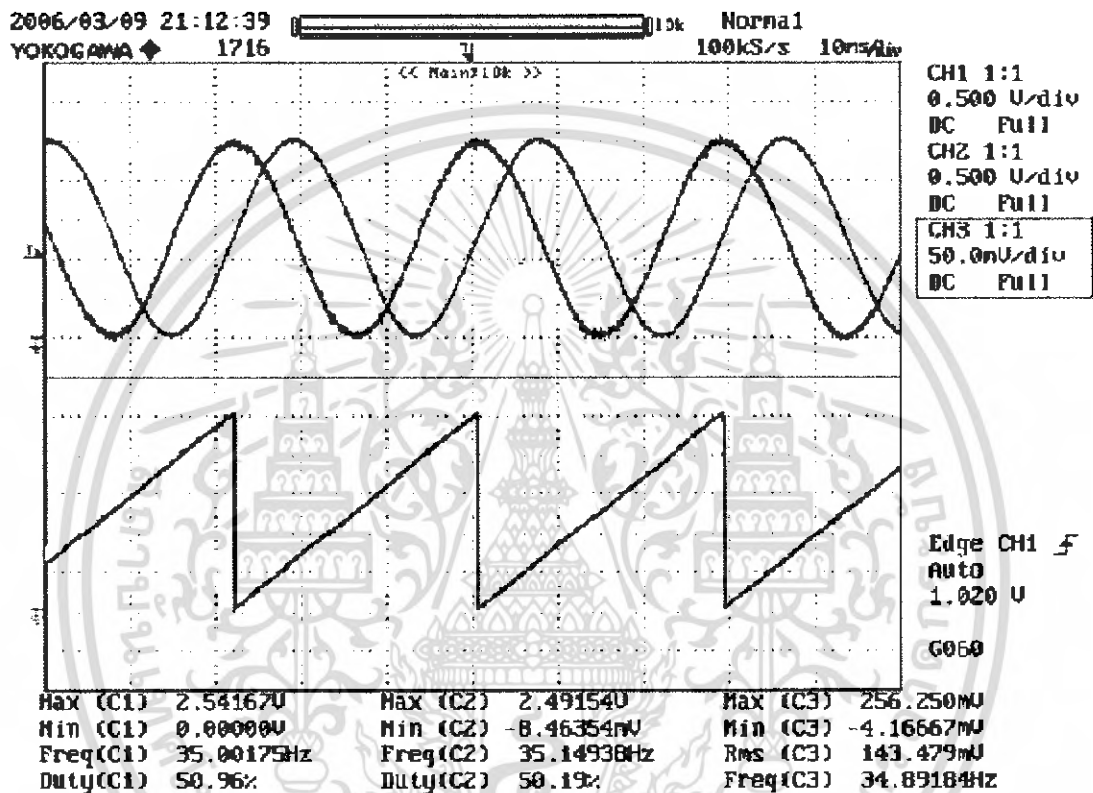
4.6 การทดลองที่ 6 ทำการปรับระดับ Offset และ Amplitude ให้เท่ากับแรงดันอ้างอิง

4.6.1 จุดประสงค์

1. เพื่อทดสอบการทำงานหาจุดบกพร่องของกราฟ
2. ให้ได้ Output ที่ออกมาที่เป็นลักษณะที่สมบูรณ์ที่สุด
3. ได้ทราบความ ไม่สมบูรณ์ของ Output เพื่อการปรับปรุงในการทดลองต่อไป

4.6.2 อุปกรณ์ที่ใช้งาน

- | | |
|---------------------------------------|-----------|
| 1. Hall Sensor | 2 ตัว |
| 2. Oscilloscope | 1 เครื่อง |
| 3. Supply Dc | 1 เครื่อง |
| 4. Dc motor | 1 ตัว |
| 5. วงจรปรับระดับ Offset และ Amplitude | |



รูปที่ 4.13 กราฟการทดลองที่ 6

4.6.3 สรุปผลการทดลอง

เนื่องจากการทดลองที่แล้วเราได้ทำการทดสอบโดยการป้อนสัญญาณเอาต์พุต 2 สัญญาณ คือ Sine และ Cosine ซึ่งเอาต์พุตที่ออกมาจะมีลักษณะเป็น 3 เหลี่ยมแต่ยังเกิดความผิดพลาดเนื่องจากค่าแรงดันที่ออกมาจากวงจรปรับระดับระดับแรงดัน offset และ Amplitude ยังไม่ได้ค่าที่ตรงกับค่าของแรงดันอ้างอิงภายในทำให้เกิดการแยกของรอยต่อในแต่ละช่วงในการทดสอบครั้งนี้เราได้ทำการแก้ไขปรับปรุงค่าแรงดันที่ออกมาจากวงจรปรับ Offset และ Amplitude ให้มีค่าใกล้เคียงค่าแรงดันอ้างอิงภายในไมโครคอนโทรลเลอร์มากที่สุด จะเห็นได้ว่า Output ที่ออกมามีความเป็นสามเหลี่ยมที่สมบูรณ์มากขึ้น ซึ่งถ้าต้องการได้เอาต์พุตที่เรียบจริงๆ ต้องทำการปรับระดับ Offset และ Amplitude ให้เท่ากับแรงดันอ้างอิงจริงๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.4 ปัญหาและอุปสรรค

จากกราฟผลการทดลองที่ 6 เราจะเห็นได้ว่ากราฟมีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้น แต่สิ่งที่ยังเป็นปัญหาสำหรับเรา คือ การที่จะทำให้แรงดันที่ออกจากเซนเซอร์เท่ากับแรงดันอ้างอิงภายใน MCU ADUC832 นั้นเป็นไปได้ยากมากเนื่องจากมีความไม่สมบูรณ์ของฮาร์ดแวร์ซึ่งไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ถึงแม้เราจะทำการปรับค่าแรงดันให้มีความเที่ยงตรงกับแรงดันอ้างอิงภายในได้ก็ตาม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปโครงการและข้อเสนอแนะ

สำหรับผลการทดลองที่ได้ทดลองมาตั้งแต่ต้น ตั้งแต่การใช้ Hall Sensor จำนวน 1 ตัว จนถึงการใช้ Hall Sensor จำนวน 2 ตัว ตั้งฉากกันตรวจจับแม่เหล็กทำให้ทราบถึงลักษณะของ เอาร์ทพุทเมื่อเกิดการหมุนของแม่เหล็ก การตอบสนองของแม่เหล็กกับตัว Hall Sensor จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของตัว Hall Sensor และ ความแรงของแม่เหล็กซึ่งเราต้องใช้ความละเอียดในการ ติดตั้ง Hall Sensor และ แม่เหล็ก หลังจากนั้นเราได้นำฮอลล์เซนเซอร์ 2 ตัว มาประกอบกับตัว มอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งได้สัญญาณเอาร์ทพุทเป็นสัญญาณ Sine และ Cosine ซึ่งนำไปประมวลผลใน ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้โปรแกรมภาษา C ซึ่งเอาร์ทพุทที่ได้เป็นลักษณะ 3 เหลี่ยม ซึ่ง สามารถนำไปตรวจจับตำแหน่งเครื่องจักรกลต่อไป

5.2 บทวิจารณ์โครงการ

จากการทดลองพบปัญหาและอุปสรรคในตัวแม่เหล็ก และ Sensor

- ทิศทางของขั้วแม่เหล็กไม่เหมาะสมกับ Hall Sensor และ เครื่องจักรกลที่นำมาทดลอง จึงต้องทำการหาแม่เหล็กที่มีลักษณะเหมาะสมกับเครื่องจักรกล ซึ่งหายากมาก
- ในส่วนของ Hardware แต่ละส่วนมีความคลาดเคลื่อนซึ่งไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้จึงทำให้สัญญาณเอาร์ทพุทไม่สมบูรณ์อย่างที่ต้องการ
- ต้องเลือก Hall Sensor ที่มี Magnetic Range ที่เหมาะสมกับความแรงของแม่เหล็ก และ ระยะห่างของการติดตั้งต้องเหมาะสมด้วยมิฉะนั้นจะเกิดปัญหาการอิมิตัวของสัญญาณเอาร์ทพุท
- การเรียนรู้หลักการที่จะนำมาใช้เขียนโปรแกรมค่อนข้างจะละเอียดซึ่งเป็นปัญหาอย่างมากที่จะศึกษาได้อย่างถ่องแท้ในเวลาจำกัด

เอกสารอ้างอิง

- (1). วิไลวรรณ ภูละออ, “ไฟฟ้า - แม่เหล็ก หนังสืออ่านประกอบวิชาฟิสิกส์พื้นฐาน ระดับอุดมศึกษา,” คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2537.
- (2). พูนศักดิ์ เอื้อดลเดชา, “วิศวกรรมแม่เหล็กไฟฟ้า,” ภาควิชาไฟฟ้า วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- (3). กิตติพงศ์ ขวัญแข็ง, ปรีชา เข้มมุกดา และ รัตติกา ธนุสา, **ครุศาสตร์วิศวกรรมปริญญาโท**, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541.
- (4). ปัญญาพล หอระตะ, “หลักการเขียนโปรแกรมภาษา C,” กรุงเทพฯ, โรงพิมพ์คลังนาโนวิทยา, 2545.
- (5). จักรพันธ์ จิตรทรัพย์, “คู่มือ MCU ADUC832,” กรุงเทพฯ, 2546.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

Solid State Hall Effect Sensors

Honeywell

Solid State Hall Effect Sensors

High Performance Miniature Ratiometric Linear

SS490 Series

FEATURES

- Small size (.160 x .118 in)
- Power consumption of 7 mA at 5 VDC for energy efficiency
- Single current sinking or current sourcing output
- Linear output for circuit design flexibility
- Built-in thin film resistors are laser trimmed for precise sensitivity and temperature compensation
- Rail-to-rail operation provides more useable signal for higher accuracy
- Temperature range of -40°C to +150°C
- Responds to either positive or negative gauss
- Quad Hall sensing element for stable output

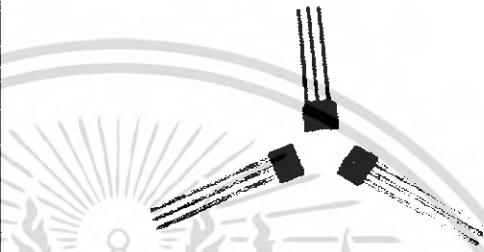
TYPICAL APPLICATIONS

- Current sensing
- Motor control
- Position sensing
- Magnetic code reading
- Rotary encoder
- Ferrous metal detector
- Vibration sensing
- Liquid level sensing
- Weight sensing

⚠WARNING**PERSONAL INJURY**

- DO NOT USE these products as safety or emergency stop devices, or in any other application where failure of the product could result in personal injury.

Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.



The SS490 Series MRL (Miniature Ratiometric Linear) sensors are small, versatile linear Hall effect devices which are operated by the magnetic field from a permanent magnet or an electromagnet. The ratiometric output voltage is set by the supply voltage and varies in proportion to the strength of the magnetic field.

The integrated circuitry provides increased temperature stability and sensitivity. Laser trimmed thin film resistors provide high accuracy (null to $\pm 3\%$, sensitivity up to $\pm 3\%$) and temperature compensation. These linear position sensors have an operating temperature range of -40°C to +150°C, appropriate for industrial and automotive environments. They respond to either positive or negative gauss, monitoring either or both magnetic poles. The quad Hall sensing element minimizes the effects of mechanical or thermal stress on the output. The positive temperature coefficient of the sensitivity (+0.02%/°C typical) helps compensate for the negative temperature coefficients of low cost magnets, providing a robust signal over a wide temperature range. Rail-to-rail operation (over full voltage range) provides a more usable signal for higher accuracy.

The recent extension to the product line, the SS490B Series, offers cost-effective MRL sensing solutions with slightly wider specifications than the SS490 high-performance products. Like the SS490 Series, the SS490B has a typical sinking or sourcing output of 1.5 mA continuous, uses 7 mA of supply current at 5.0 volts and 25°C, and provides predictable performance over the full temperature range. The SS490B Series sensors have wider null and sensitivity tolerances and a wider drift over temperature.

The SS490B Series sensors are a new lower cost product line extension. They complement the SS490 Series of small size, high accuracy and high performance miniature linear products.

⚠WARNING**MISUSE OF DOCUMENTATION**

- The information presented in this product sheet is for reference only. Do not use this document as product installation information.
 - Complete installation, operation, and maintenance information is provided in the instructions supplied with each product.
- Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.

Sensing and Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Solid State Hall Effect Sensors

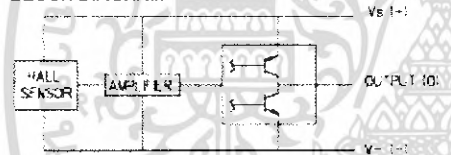
High Performance Miniature Ratiometric Linear

SS490 Series

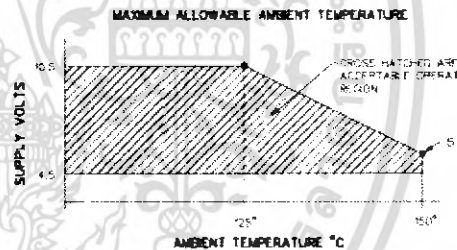
SPECIFICATIONS ($V_s = 5.0$ V, $t_a = -40$ to $+125^\circ\text{C}$, unless otherwise noted)

Catalog Listing Type	SS495A	SS495A1	SS495A2	SS495B	SS495A	SS495A1	SS495B
Supply Voltage (VDC)	4.5 to 10.5						
Supply Current @ 25°C (mA)	Typ.						
	7.0						
Output Type (Sink or Source)	Ratiometric						
	Output Current (mA)						
Typ. Sink or Source	$V_s > 4.5$ V						
Mn. Source	$V_s > 4.5$ V						
Mn. Sink	$V_s > 4.5$ V						
Mn. Sink	$V_s > 5.0$ V						
Operating Temperature	-40 to $+150^\circ\text{C}$ (-40 to $+302^\circ\text{F}$)						
Magnetic Range, Gauss	Typ.						
	± 670	± 670	± 670	± 670	± 840	± 840	± 840
Output Voltage Span	Typ.						
	0.2 to $(V_s - 0.2)$						
Null (Output @ 0 Gauss, V)	Mn.						
	2.50 ± 0.075	2.50 ± 0.075	2.50 ± 0.100	2.50 ± 0.150	2.50 ± 0.075	2.50 ± 0.075	2.50 ± 0.150
Sensitivity (mV/G)	Typ.						
	3.125 ± 0.125	3.125 ± 0.064	3.125 ± 0.156	3.125 ± 0.250	2.50 ± 0.100	2.50 ± 0.075	2.50 ± 0.200
Linearity (% of Span)	Typ.						
	-1.0						
Temperature Error	Typ.						
	-1.5						
Null Drift ($\%/^\circ\text{C}$)	Typ.						
	± 0.06	± 0.04	± 0.07	± 0.08	± 0.048	± 0.03	± 0.06
Sensitivity Drift ($\%/^\circ\text{C}$)	Typ.						
	$\pm 25^\circ\text{C}$ Max.	-0.01, +0.05	-0.02, +0.00	-0.02, +0.06	-0.01, +0.05	-0.01, +0.05	-0.01, +0.05
< 25°C Max.	0.0, +0.06	0.0, +0.06	-0.01, +0.07	-0.02, +0.06	0.0, +0.06	0.0, +0.06	-0.02, +0.06

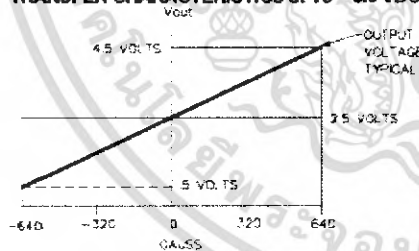
BLOCK DIAGRAM



MAXIMUM SUPPLY VOLTAGE vs. TEMPERATURE



TRANSFER CHARACTERISTICS at $V_s = 5.0$ VDC



2 Honeywell • Sensing and Control

For application help: call 1-800-537-6945

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Solid State Hall Effect Sensors

High Performance Miniature Ratiometric Linear

SS490 Series

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

Supply voltage (V _s)	-0.5 to +11 VDC
Output current (mA)	10 mA
Operating temperature	-40°C to +150°C (-40°F to +302°F)
Storage temperature	-55°C to +185°C (-67°F to +320°F)
Magnetic flux	No limit. Circuit cannot be damaged by magnetic over-drive

* Absolute maximum ratings are the extreme limits that the device will withstand without damage to the device. However, the electrical and mechanical characteristics are not guaranteed as the maximum limits (above recommended operating conditions) are approached, nor will the device necessarily operate at absolute maximum ratings.

NOTICE

Products ordered in bulk packaging (plastic bags) may not have perfectly straight leads as a result of normal handling and shipping operations. Please order a tape packaging option for applications with critical requirements for straight leads.

WARRANTY/REMEDY

Honeywell warrants goods of its manufacture as being free of defective materials and faulty workmanship. Contact your local sales office for warranty information. If warranted goods are returned to Honeywell during the period of coverage, Honeywell will repair or replace without charge those items it finds defective. The foregoing is Buyer's sole remedy and is in lieu of all other warranties, expressed or implied, including those of merchantability and fitness for a particular purpose.

Specifications may change without notice. The information we supply is believed to be accurate and reliable as of this printing. However, we assume no responsibility for its use.

While we provide application assistance personally, through our literature and the Honeywell web site, it is up to the customer to determine the suitability of the product in the application.

For application assistance, current specifications, or name of the nearest Authorized Distributor, contact a nearby sales office. Or call:

1-800-537-6945 USA
 1-800-737-3360 Canada
 1-815-235-6847 International
 FAX
 1-815-235-6545 USA
 INTERNET
www.honeywell.com/sensing
info@micro.honeywell.com

Sensing and Control
 Honeywell Inc.
 11 West Spring Street
 Freeport, Illinois 61032

www.honeywell.com/sensing



Printed with Soy Ink
 on 50% Recycled Paper
 025043-1 EN US GAO 000 Printed in USA

Honeywell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

Low Power Quad Operational Amplifiers LM324

August 2000

National Semiconductor

LM124/LM224/LM324/LM2902

Low Power Quad Operational Amplifiers

General Description

The LM124 series consists of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, DC gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM124 series can be directly operated off of the standard +5V power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional $\pm 15V$ power supplies.

Unique Characteristics

- In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage
- The unity gain cross frequency is temperature compensated
- The input bias current is also temperature compensated

Advantages

- Eliminates need for dual supplies
- Four internally compensated op amps in a single package
- Allows direct sensing near GND and V_{OUT} also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

Features

- Internally frequency compensated for unity gain
- Large DC voltage gain: 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain): 1 MHz (temperature compensated)
- Wide power supply range: Single supply: 3V to 32V or dual supplies: $\pm 1.5V$ to $\pm 16V$
- Very low supply current drain (700 μA)—essentially independent of supply voltage
- Low input biasing current: 45 nA (temperature compensated)
- Low input offset voltage: 2 mV and offset current: 5 nA
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing: 0V to $V^+ - 1.5V$

Connection Diagrams

Dual-In-Line Package

Top View

Order Number LM124J, LM124AJ, LM124J883 (Note 2), LM124AJ883 (Note 1), LM224J, LM224AJ, LM324J, LM324AJ, LM324J883 (Note 2), LM324AJ883 (Note 1), LM324AM, LM324AMX, LM2902M, LM2902MX, LM324M, LM324MX, LM324MT, LM324MTX or LM2902M, LM124AJRQML and LM124AJRQMLV (Note 3)

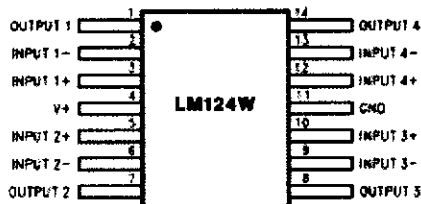
See NS Package Number J14A, M14A or N14A

LM124/LM224/LM324/LM2902 Low Power Quad Operational Amplifiers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM124/LM224/LM324/LM2902

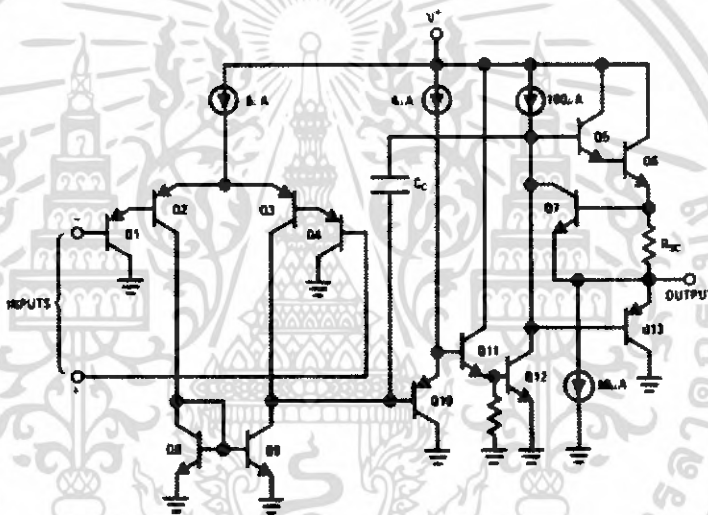
Connection Diagrams (Continued)



Order Number LM124AW/883, LM124AWG/883, LM124W/883 or LM124WG/883
 LM124AWROML and LM124AWROMLV (Note 3)
 See NS Package Number W14B
 LM124AWGROML and LM124AWGROMLV (Note 3)
 See NS Package Number WG14A

Note 1: LM124A available per JM8510/11005
 Note 2: LM124 available per JM8510/11005
 Note 3: See STD M8 DWG 5962R66504 for Radiation Tolerant Device

Schematic Diagram (Each Amplifier)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM124/LM224/LM324/LM2902

Absolute Maximum Ratings (Note 12)

Distributors for availability and specifications.

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office

	LM124/LM224/LM324			LM2902		
	LM124A/LM224A/LM324A					
Supply Voltage, V*	32V			26V		
Differential Input Voltage	32V			26V		
Input Voltage	-0.3V to +32V			-0.3V to +26V		
Input Current ($V_{IN} < -0.3V$) (Note 6)	50 mA			50 mA		
Power Dissipation (Note 4)						
Molded DIP	1130 mW			1130 mW		
Cavity DIP	1260 mW			1260 mW		
Small Outline Package	800 mW			800 mW		
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) (Note 5)						
V* ≤ 15V and T _A = 25°C	Continuous			Continuous		
Operating Temperature Range				-40°C to +85°C		
LM324/LM324A	0°C to +70°C					
LM224/LM224A	-25°C to +85°C					
LM124/LM124A	-55°C to +125°C					
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C			-65°C to +150°C		
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	260°C			260°C		
Soldering Information						
Dual-In-Line Package						
Soldering (10 seconds)	260°C			260°C		
Small Outline Package						
Vapor Phase (60 seconds)	215°C			215°C		
Infrared (15 seconds)	220°C			220°C		
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.						
ESD Tolerance (Note 13)	250V			250V		

Electrical Characteristics

V* = +5.0V, (Note 7), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM124A			LM224A			LM324A			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 8) T _A = 25°C		1	2		1	3		2	3	mV
Input Bias Current (Note 9)	I _{IN(+)} or I _{IN(-)} , V _{CM} = 0V, T _A = 25°C		20	50		40	80		45	100	nA
Input Offset Current	I _{IN(+)} or I _{IN(-)} , V _{CM} = 0V, T _A = 25°C		2	10		2	15		5	30	nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 10)	V* = 30V, (LM2902, V* = 26V), T _A = 25°C	0	V* - 1.5		0	V* - 1.5		0	V* - 1.5		V
Supply Current	Over Full Temperature Range R _L = ∞ On All Op Amps V* = 30V (LM2902 V* = 26V) V* = 5V		1.5	3		1.5	3		1.5	3	mA
Large Signal Voltage Gain	V* = 15V, R _L ≥ 2kΩ, (V _O = 1V to 11V), T _A = 25°C	50	100		50	100		25	100		V/mV
Common-Mode	DC, V _{CM} = 0V to V* - 1.5V,	70	85		70	85		65	85		dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM124/LM224/LM324/LM2902

Electrical Characteristics (Continued)													
V* = +5.0V, (Note 7), unless otherwise stated													
Parameter	Conditions	LM124A			LM224A			LM324A			Units		
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max			
Rejection Ratio	T _A = 25°C												
Power Supply Rejection Ratio	V* = 5V to 30V (LM2902, V* = 5V to 26V), T _A = 25°C	65	100		65	100		65	100		dB		
Amplifier-to-Amplifier Coupling (Note 11)	f = 1 kHz to 20 kHz, T _A = 25°C (Input Referred)			-120			-120			-120	dB		
Output Current	Source	V _{IN+} = 1V, V _{IN-} = 0V, V* = 15V, V _O = 2V, T _A = 25°C		20	40		20	40		20	40	mA	
	Sink	V _{IN-} = 1V, V _{IN+} = 0V, V* = 15V, V _O = 2V, T _A = 25°C		10	20		10	20		10	20		
		V _{IN-} = 1V, V _{IN+} = 0V, V* = 15V, V _O = 200 mV, T _A = 25°C		12	50		12	50		12	50		µA
Short Circuit to Ground	(Note 5) V* = 15V, T _A = 25°C			40	60		40	60		40	60	mA	
Input Offset Voltage	(Note 8)				4			4			5	mV	
V _{OS} Drift	R _B = 0Ω				7	20		7	20		7	30	µV/°C
Input Offset Current	I _{IN(+)} - I _{IN(-)} , V _{CM} = 0V					30					75	nA	
I _{OS} Drift	R _B = 0Ω				10	200		10	200		10	300	pA/°C
Input Bias Current	I _{IN(+)} or I _{IN(-)}				40	100		40	100		40	200	nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 10)	V* = +30V (LM2902, V* = 26V)	0		V*-2	0		V*-2	0		V*-2		V	
Large Signal Voltage Gain	V* = +15V (V _O Swing = 1V to 11V) R _L ≥ 2 kΩ			25			25			15		V/mV	
Output Voltage Swing	V _{OH}	V* = 30V (LM2902, V* = 26V)		R _L = 2 kΩ		26		26		26		V	
	R _L = 10 kΩ		27	28	27	28	27	28					
V _{OL}	V* = 5V, R _L = 10 kΩ		5	20	5	20	5	20				mV	
Output Current	Source	V _O = 2V		V _{IN+} = +1V, V _{IN-} = 0V, V* = 15V		10	20	10	20	10	20	mA	
	Sink	V _{IN-} = +1V, V _{IN+} = 0V, V* = 15V		10	15	5	8	5	8				

Electrical Characteristics												
V* = +5.0V, (Note 7), unless otherwise stated												
Parameter	Conditions	LM124/LM224			LM324			LM2902			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Input Offset Voltage	(Note 8) T _A = 25°C			2	5		2	7		2	7	mV
Input Bias Current (Note 9)	I _{IN(+)} or I _{IN(-)} , V _{CM} = 0V, T _A = 25°C			45	150		45	250		45	250	nA
Input Offset Current	I _{IN(+)} or I _{IN(-)} , V _{CM} = 0V, T _A = 25°C			3	30		5	50		5	50	nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 10)	V* = 30V, (LM2902, V* = 26V), T _A = 25°C	0		V*-1.5	0		V*-1.5	0		V*-1.5		V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Continued)											
V ⁺ = +5.0V, (Note 7), unless otherwise stated											
Parameter	Conditions	LM124/LM224			LM324			LM2902			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Supply Current	Over Full Temperature Range R _L = ∞ On All Op Amps V ⁺ = 30V (LM2902 V ⁺ = 26V) V ⁻ = 5V	1.5	3		1.5	3		1.5	3		mA
Large Signal Voltage Gain	V ⁺ = 15V, R _L ≥ 2kΩ, (V _O = 1V to 11V), T _A = 25°C	50	100		25	100		25	100		V/mV
Common-Mode Rejection Ratio	DC, V _{CM} = 0V to V ⁻ - 1.5V, T _A = 25°C	70	85		65	85		50	70		dB
Power Supply Rejection Ratio	V ⁺ = 5V to 30V (LM2902, V ⁺ = 5V to 26V), T _A = 25°C	65	100		65	100		50	100		dB
Amplifier-to-Amplifier Coupling (Note 11)	f = 1 kHz to 20 kHz, T _A = 25°C (Input Referred)		-120			-120			-120		dB
Output Current	Source V _{IN} ⁺ = 1V, V _{IN} ⁻ = 0V, V ⁺ = 15V, V _O = 2V, T _A = 25°C	20	40		20	40		20	40		mA
	Sink V _{IN} ⁻ = 1V, V _{IN} ⁺ = 0V, V ⁺ = 15V, V _O = 2V, T _A = 25°C	10	20		10	20		10	20		mA
	Sink V _{IN} ⁻ = 1V, V _{IN} ⁺ = 0V, V ⁺ = 15V, V _O = 200 mV, T _A = 25°C	12	50		12	50		12	50		μA
Short Circuit to Ground	(Note 5) V ⁺ = 15V, T _A = 25°C	40	60		40	60		40	60		mA
Input Offset Voltage	(Note 8)		7			9			10		mV
V _{OS} Drift	R _B = 0Ω		7			7			7		μV/°C
Input Offset Current	I _{IN(+)} - I_{IN(-)}}, V_{CM} = 0V}			100			150		45	200	nA
I _{OS} Drift	R _B = 0Ω		10			10			10		pA/°C
Input Bias Current	I _{IN(+)}} or I _{IN(-)}}	40	300		40	500		40	500		nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 10)	V ⁺ = +30V (LM2902, V ⁺ = 26V)	0	V ⁻ -2		0	V ⁻ -2		0	V ⁻ -2		V
Large Signal Voltage Gain	V ⁺ = +15V (V _O Swing = 1V to 11V) R _L ≥ 2 kΩ	25			15			15			V/mV
Output Voltage Swing	V _{OH} V ⁺ = 30V (LM2902, V ⁺ = 26V)		R _L = 2 kΩ	26		26		22			V
	V _{OL} V ⁺ = 5V, R _L = 10 kΩ		R _L = 10 kΩ	27	28	27	28	23	24		mV
Output Current	Source V _O = 2V		V _{IN} ⁺ = +1V, V _{IN} ⁻ = 0V, V ⁺ = 15V	10	20	10	20	10	20		mA
	Sink V _O = 2V		V _{IN} ⁻ = +1V, V _{IN} ⁺ = 0V, V ⁺ = 15V	5	8	5	8	5	8		mA

Note 4: For operating at high temperatures, the LM324/LM224/LM2902 must be derated based on a +125°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 80°C/W which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM224/LM224A and LM124/LM124A can be derated based on a +150°C maximum junction temperature. The dissipation is the total of all four amplifiers—use external resistors, where possible, to allow the amplifier to dissipate or to reduce the power which is dissipated in the integrated circuit.

Note 5: Short circuits from the output to V⁻ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V⁺. At values of supply voltage in excess of +15V, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

Note 6: This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM124/LM224/LM324/LM2902

Electrical Characteristics (Continued)

on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the op amps to go to the V^+ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than $-0.8V$ (at 25°C).

Note 7: These specifications are limited to $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$ for the LM124/LM124A. With the LM224/LM224A, all temperature specifications are limited to $-25^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$, the LM324/LM324A temperature specifications are limited to $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$, and the LM2902 specifications are limited to $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$.

Note 8: $V_O = 1.4V$, $R_O = 0\Omega$ with V^+ from 6V to 30V, and over the full input common-mode range (6V to $V^+ - 1.5V$) for LM2902, V^+ from 5V to 28V.

Note 9: The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.

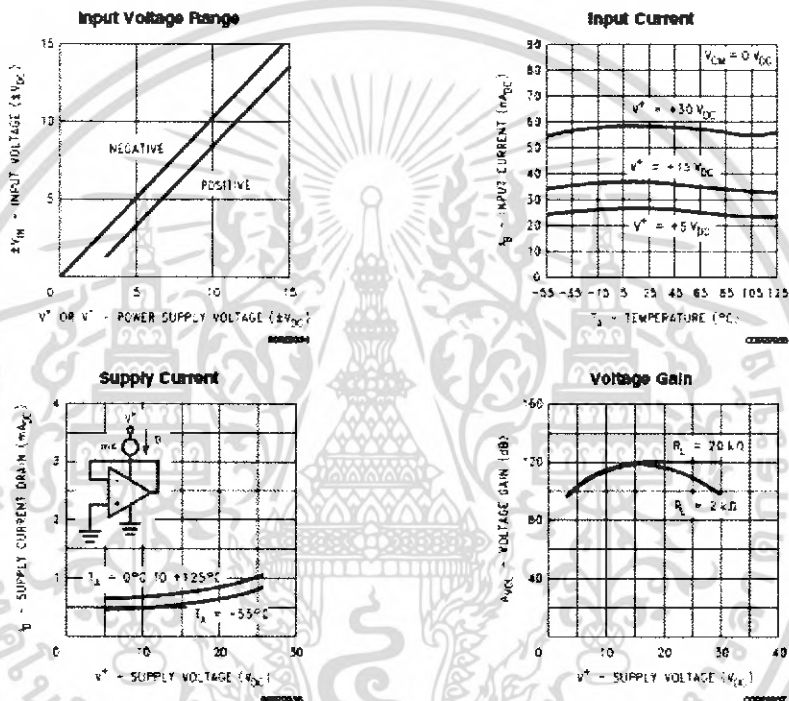
Note 10: The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.8V (at 25°C). The upper end of the common-mode voltage range is $V^+ - 1.6V$ (at 25°C), but either or both inputs can go to $-32V$ without damage ($+28V$ for LM2902), independent of the magnitude of V^+ .

Note 11: Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.

Note 12: Refer to RETS124AX for LM124A military specifications and refer to RETS124X for LM124 military specifications.

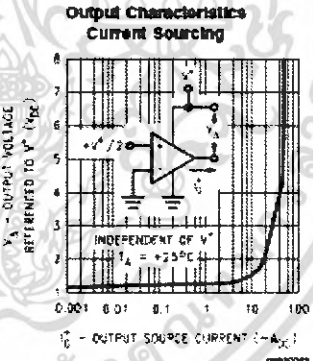
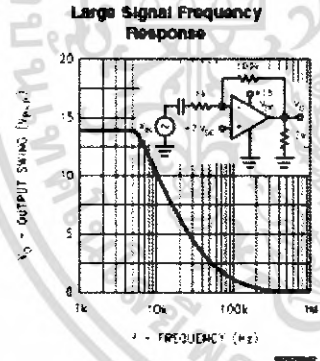
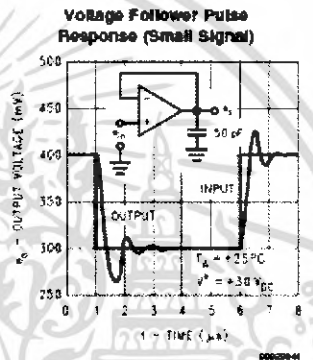
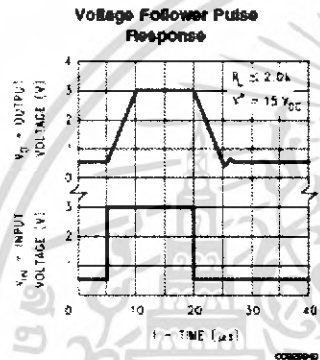
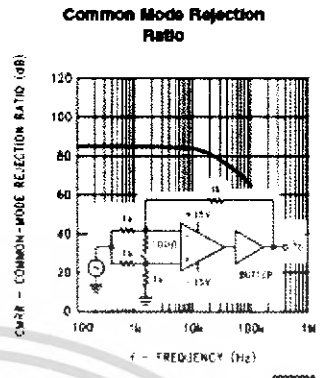
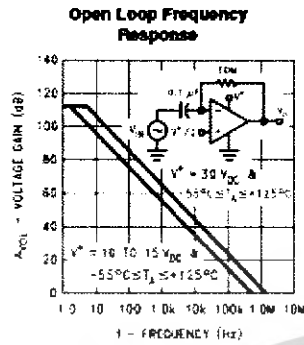
Note 13: Human body model, 1.5 k Ω in series with 100 pF.

Typical Performance Characteristics



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

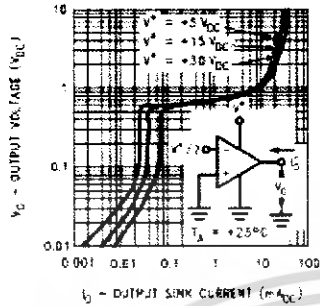
Typical Performance Characteristics (continued)



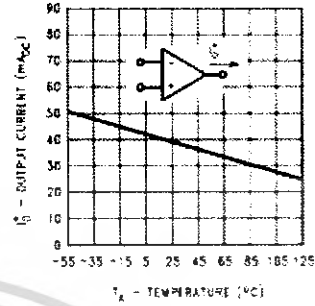
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)

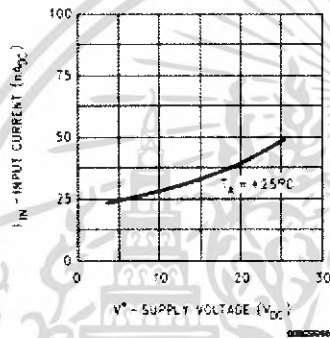
Output Characteristics Current Sinking



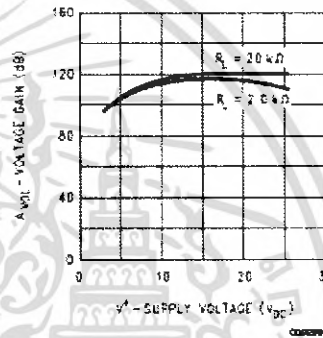
Current Limiting



Input Current (LM2902 only)



Voltage Gain (LM2902 only)



Application Hints

The LM124 series are op amps which operate with only a single power supply voltage, have true-differential inputs, and remain in the linear mode with an input common-mode voltage of $0 V_{DC}$. These amplifiers operate over a wide range of power supply voltage with little change in performance characteristics. At 25°C amplifier operation is possible down to a minimum supply voltage of $2.3 V_{DC}$.

The pinouts of the package have been designed to simplify PC board layouts. Inverting inputs are adjacent to outputs for all of the amplifiers and the outputs have also been placed at the corners of the package (pins 1, 7, 8, and 14).

Precautions should be taken to insure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed backwards in a test socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

Large differential input voltages can be easily accommodated and, as input differential voltage protection diodes are not needed, no large input currents result from large differential input voltages. The differential input voltage may be larger than V^+ without damaging the device. Protection

should be provided to prevent the input voltages from going negative more than $-0.3 V_{DC}$ (at 25°C). An input clamp diode with a resistor to the IC input terminal can be used.

To reduce the power supply drain, the amplifiers have a class A output stage for small signal levels which converts to class B in a large signal mode. This allows the amplifiers to both source and sink large output currents. Therefore both NPN and PNP external current boost transistors can be used to extend the power capability of the basic amplifiers. The output voltage needs to raise approximately 1 diode drop above ground to bias the on-chip vertical PNP transistor for output current sinking applications.

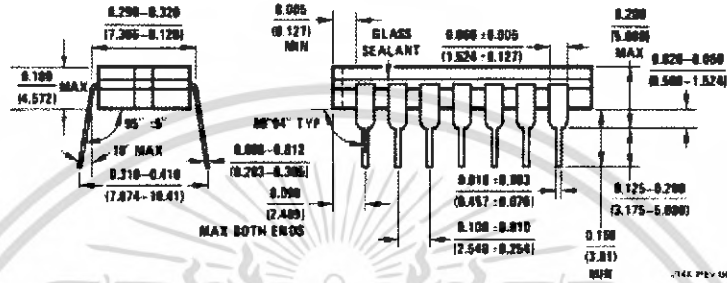
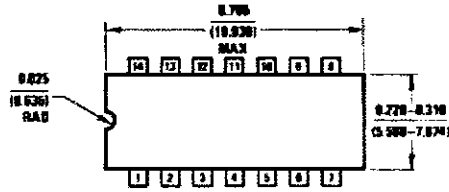
For ac applications, where the load is capacitively coupled to the output of the amplifier, a resistor should be used, from the output of the amplifier to ground to increase the class A bias current and prevent crossover distortion.

Where the load is directly coupled, as in dc applications, there is no crossover distortion.

Capacitive loads which are applied directly to the output of the amplifier reduce the loop stability margin. Values of 50 pF can be accommodated using the worst-case non-inverting unity gain connection. Large closed loop gains or resistive isolation should be used if larger load capacitance must be driven by the amplifier.

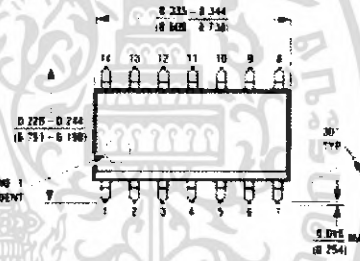
LM124/LM224/LM324/LM2902

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



Ceramic Dual-In-Line Package (J)

Order Number JL124ABCA, JL124BCA, JL124A9CA, JL124SCA, LM124J, LM124AJ, LM124AJ/883, LM124J/883, LM224J, LM224AJ or LM324J
NS Package Number J14A

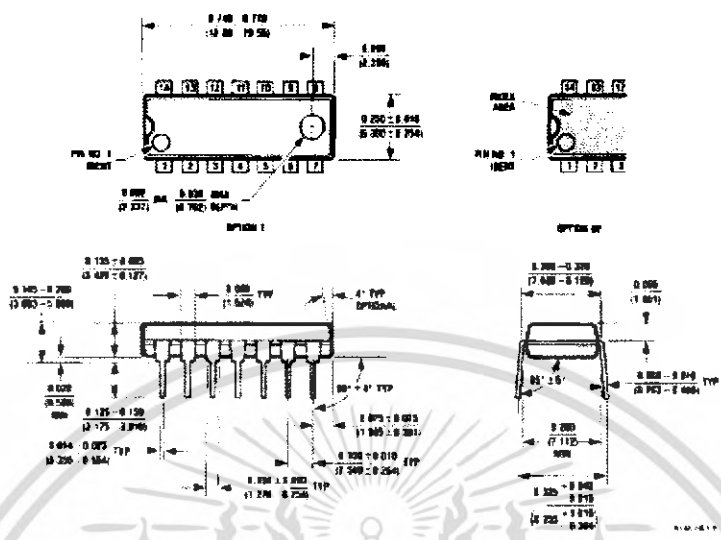


MX S.O. Package (M)

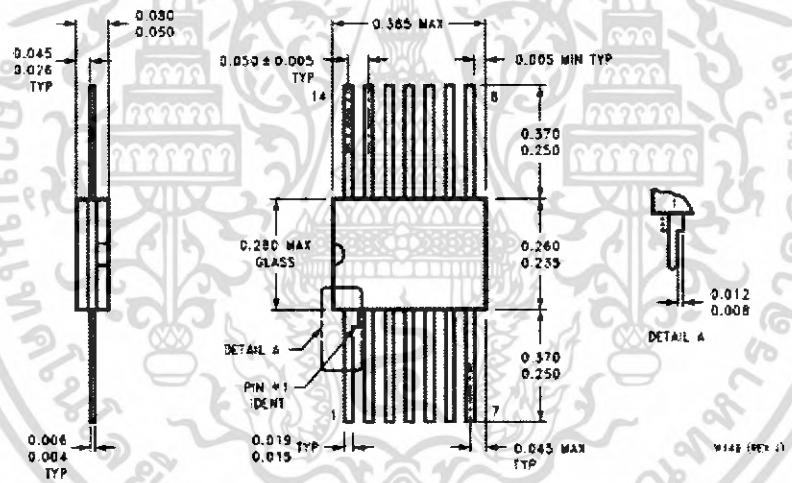
Order Number LM324M, LM324MX, LM324AM, LM324AMX, LM2902M or LM2902MX
NS Package Number M14A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



Molded Dual-In-Line Package (N)
 Order Number LM324N, LM324AN or LM2902N
 NS Package Number N14A

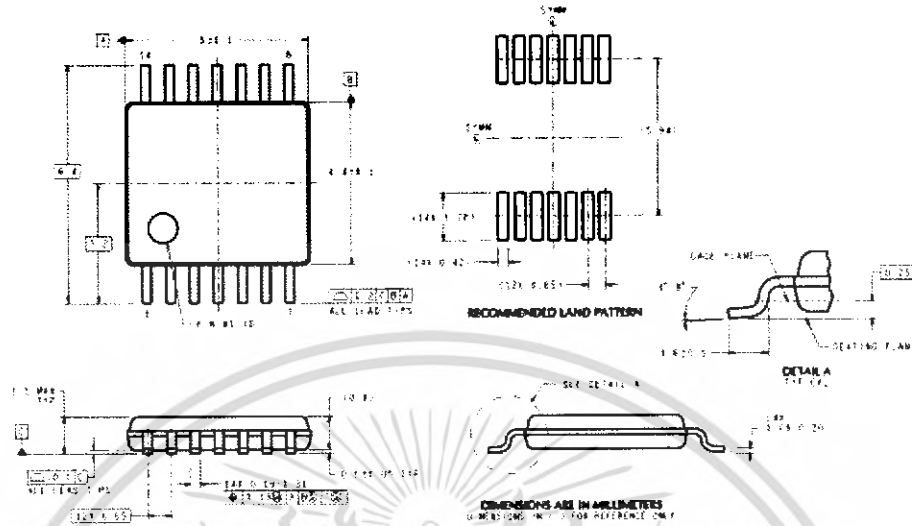


Ceramic Flatpack Package
 Order Number JL124ABDA, JL124ABZA, JL124ASDA, JL124BDA, JL124BZA,
 JL124SDA, LM124AW/883, LM124AWG/883, LM124W/883 or LM124WG/883
 NS Package Number W14B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM124/LM224/LM324/LM2902 Low Power Quad Operational Amplifiers

Physical Dimensions Inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



14-Pin TSSOP
Order Number LM324MT or LM324MTX
NS Package Number MTC14

MTC14 (Rev D)

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

BANNED SUBSTANCE COMPLIANCE

National Semiconductor certifies that the products and packing materials meet the provisions of the Customer Products Stewardship Specification (CSP-9-111C2) and the Banned Substances and Materials of Interest Specification (CSP-9-111S2) and contain no "Banned Substances" as defined in CSP-9-111S2.

 <p>National Semiconductor American Customer Support Center Email: www.hotline@nsc.com Tel: 1-800-272-5851 www.national.com</p>	<p>National Semiconductor Europe Customer Support Center Fax: +49 (0) 180-630 85 68 Email: sempo.support@nsc.com Dutch Tel: +31 (0) 60 0528 4208 English Tel: +44 (0) 870 24 02171 Finnish Tel: +358 (0) 141 81 8700</p>	<p>National Semiconductor Asia Pacific Customer Support Center Email: ap.support@nsc.com</p>	<p>National Semiconductor Japan Customer Support Center Fax: 81-3-6830-7607 Email: jpn.hotline@nsc.com Tel: 81-3-6830-7680</p>
---	---	--	---

National does not assume any responsibility to use of any circuit described, so check patent it does are implied and National reserves the right of any time without notice to change and to modify and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

Microconverter



MicroConverter®, 12-Bit ADCs and DACs with Embedded 62 kBytes Flash MCU

ADuC832

FEATURES

ANALOG I/O

- 8-Channel, 247 kSPS 12-Bit ADC
- DC Performance: ± 1 LSB INL
- AC Performance: 71 dB SNR
- DMA Controller for High Speed ADC-to-RAM Capture
- 2 12-Bit (Monotonic) Voltage Output DACs
- Dual Output PWM/ Σ - Δ DACs
- On-Chip Temperature Sensor Function $\pm 3^\circ\text{C}$
- On-Chip Voltage Reference

Memory

- 62 kBytes On-Chip Flash/EE Program Memory
- 4 kBytes On-Chip Flash/EE Data Memory
- Flash/EE, 100 Yr Retention, 100 kCycles Endurance
- 2304 Bytes On-Chip Data RAM

8051-Based Core

- 8051 Compatible Instruction Set (16 MHz Max)
- 32 kHz Ext Crystal, On-Chip Programmable PLL
- 12 Interrupt Sources, 2 Priority Levels
- Dual Data Pointer
- Extended 11-Bit Stack Pointer

On-Chip Peripherals

- Time Interval Counter (TIC)
- UART, I²C, and SPI[®] Serial I/O
- Watchdog Timer (WDT), Power Supply Monitor (PSM)

Power

- Specified for 3 V and 5 V Operation
- Normal, Idle, and Power-Down Modes
- Power-Down: 25 μA @ 3 V with Wake-Up cct Running

APPLICATIONS

- Optical Networking—Laser Power Control
- Base Station Systems
- Precision Instrumentation, Smart Sensors
- Transient Capture Systems
- DAS and Communications Systems

Upgrade to ADuC812 Systems. Runs from 32 kHz External Crystal with On-Chip PLL.

Also Available: ADuC831 Pin Compatible Upgrade to Existing ADuC812 Systems that Require Additional Code or Data Memory. Runs from 1 MHz–16 MHz External Crystal.

MicroConverter is a registered trademark and QuickStart is a trademark of Analog Devices, Inc.

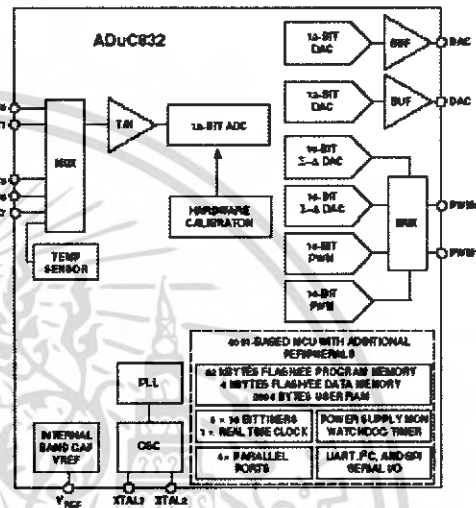
SPI is a registered trademark of Motorola, Inc.

I²C is a registered trademark of Philips Corporation.

REV. 0

Information furnished by Analog Devices is intended to provide a general understanding of the product only. This information is not intended to be used in the design of any specific system. Analog Devices, Inc. and its subsidiaries assume no responsibility for the use of the information furnished herein in any specific application. For more information, contact your local Analog Devices sales office or the Analog Devices website at www.analog.com.

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



GENERAL DESCRIPTION

The ADuC832 is a complete smart transducer front end, integrating a high performance self-calibrating multichannel 12-bit ADC, dual 12-bit DACs, and programmable 8-bit MCU on a single chip. The device operates from a 32 kHz crystal with an on-chip PLL generating a high frequency clock of 16.77 MHz. This clock is, in turn, routed through a programmable clock divider from which the MCU core clock operating frequency is generated. The microcontroller core is an 8051 and therefore 8051 instruction set compatible with 12 core clock periods per machine cycle. 62 kBytes of nonvolatile Flash/EE program memory are provided on-chip. 4 kBytes of nonvolatile Flash/EE data memory, 256 bytes RAM, and 2 kBytes of extended RAM are also integrated on-chip.

The ADuC832 also incorporates additional analog functionality with two 12-bit DACs, power supply monitor, and a band gap reference. On-chip digital peripherals include two 16-bit Σ - Δ DACs, dual output 16-bit PWM, watchdog timer, time interval counter, three timers/counters, Timer 3 for baud rate generation, and serial I/O ports (SPI, I²C, and UART).

On-chip factory firmware supports in-circuit serial download and debug modes (via UART) as well as single-pin emulation mode via the EA pin. The ADuC832 is supported by QuickStart™ and QuickStart Plus development systems featuring low cost software and hardware development tools. A functional block diagram of the ADuC832 is shown above with a more detailed block diagram shown in Figure 1.

The part is specified for 3 V and 5 V operation over the extended industrial temperature range and is available in a 52-lead plastic quad flatpack package and a 56-lead chip scale package.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781/329-4700 www.analog.com
Fax: 781/329-8703 © Analog Devices, Inc., 2002. All rights reserved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADuC832

SPECIFICATIONS¹ ($V_{DD} = DV_{DD} = 2.7 \text{ V to } 3.3 \text{ V or } 4.5 \text{ V to } 5.5 \text{ V}$; $V_{REF} = 2.5 \text{ V Internal Reference}$, $f_{CLK} = 16.78 \text{ MHz}$; all specifications $T_A = T_{min}$ to T_{max} , unless otherwise noted.)

Parameter	$V_{DD} = 5 \text{ V}$	$V_{DD} = 3 \text{ V}$	Unit	Test Conditions/Comments
ADC CHANNEL SPECIFICATIONS				
DC ACCURACY^{2,3}				
Resolution	12	12	Bits	$f_{SAMPLE} = 147 \text{ kHz}$, see Page 11 for Typical Performance at other f_{SAMPLE}
Integral Nonlinearity	± 1	± 1	LSB max	2.5 V Internal Reference
	± 0.3	± 0.3	LSB typ	
Differential Nonlinearity	± 0.9	± 0.9	LSB max	2.5 V Internal Reference
	± 0.25	± 0.25	LSB typ	
Integral Nonlinearity ⁴	± 1.5	± 1.5	LSB max	1 V External Reference
Differential Nonlinearity ⁴	$+1.5/-0.9$	$+1.5/-0.9$	LSB max	1 V External Reference
Code Distribution	1	1	LSB typ	ADC Input is a DC Voltage
CALIBRATED ENDPOINT ERRORS^{3,5}				
Offset Error	± 4	± 4	LSB max	
Offset Error Match	± 1	± 1	LSB typ	
Gain Error	± 2	± 3	LSB max	
Gain Error Match	-85	-85	dB typ	
DYNAMIC PERFORMANCE				
Signal-to-Noise Ratio (SNR) ⁷	71	71	dB typ	$f_{IN} = 10 \text{ kHz Sine Wave}$ $f_{SAMPLE} = 147 \text{ kHz}$
Total Harmonic Distortion (THD)	-85	-85	dB typ	
Peak Harmonic or Spurious Noise	-85	-85	dB typ	
Channel-to-Channel Crosstalk ⁸	-80	-80	dB typ	
ANALOG INPUT				
Input Voltage Ranges	0 to V_{REF}	0 to V_{REF}	V	
Leakage Current	± 1	± 1	$\mu\text{A max}$	
Input Capacitance	32	32	pF typ	
TEMPERATURE SENSOR⁹				
Voltage Output at 25°C	650	650	mV typ	
Voltage TC	-2.0	-2.0	mV/°C typ	
Accuracy	± 3	± 3	°C typ	Internal 2.5 V V_{REF} External 2.5 V V_{REF}
	± 1.5	± 1.5	°C typ	
DAC CHANNEL SPECIFICATIONS				
Internal Buffer Enabled				
DAC Load to AGND $R_L = 10 \text{ k}\Omega$, $C_L = 100 \text{ pF}$				
DC ACCURACY¹⁰				
Resolution	12	12	Bits	
Relative Accuracy	± 3	± 3	LSB typ	
Differential Nonlinearity ¹¹	-1	-1	LSB max	Guaranteed 12-Bit Monotonic
	$\pm 1/2$	$\pm 1/2$	LSB typ	
Offset Error	± 50	± 50	mV max	V_{REF} Range
Gain Error	± 1	± 1	% max	AV_{DD} Range
	± 1	± 1	% typ	V_{REF} Range
Gain Error Mismatch	0.5	0.5	% typ	% of Full-Scale on DAC1
ANALOG OUTPUTS				
Voltage Range_0	0 to V_{REF}	0 to V_{REF}	V typ	DAC $V_{REF} = 2.5 \text{ V}$
Voltage Range_1	0 to V_{DD}	0 to V_{DD}	V typ	DAC $V_{REF} = V_{DD}$
Output Impedance	0.5	0.5	Ω typ	
DAC AC CHARACTERISTICS				
Voltage Output Settling Time	15	15	$\mu\text{s typ}$	Full-Scale Settling Time to within 1/2 LSB of Final Value
Digital-to-Analog Glitch Energy	10	10	nV sec typ	1 LSB Change at Major Carry

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADuC832

SPECIFICATIONS (continued)

Parameter	V _{DD} = 5 V	V _{DD} = 3 V	Unit	Test Conditions/Comments
DAC CHANNEL SPECIFICATIONS^{12, 13} Internal Buffer Disabled				
DC ACCURACY¹⁰				
Resolution	12	12	Bits	Guaranteed 12-Bit Monotonic
Relative Accuracy	±3	±3	LSB typ	
Differential Nonlinearity ¹¹	-1	-1	LSB max	
	±1/2	±1/2	LSB typ	
Offset Error	±5	±5	mV max	V _{REF} Range
Gain Error	-0.3	-0.3	% typ	V _{REF} Range
Gain Error Mismatch ⁴	0.5	0.5	% max	% of Full-Scale on DAC1
ANALOG OUTPUTS				
Voltage Range ₀	0 to V _{REF}	0 to V _{REF}	V typ	DAC V _{REF} = 2.5 V
REFERENCE INPUT/OUTPUT				
REFERENCE OUTPUT¹⁴				
Output Voltage (V _{REF})	2.5	2.5	V	Of V _{REF} Measured at the C _{REF} Pin
Accuracy	±2.5	±2.5	% max	
Power Supply Rejection	47	57	dB typ	
Reference Temperature Coefficient	±100	±100	ppm/°C typ	
Internal V _{REF} Power-On Time	80	80	ms typ	
EXTERNAL REFERENCE INPUT¹⁵				
Voltage Range (V _{REF}) ⁴	0.1 V _{DD}	0.1 V _{DD}	V min V max	V _{REF} and C _{REF} Pins Shorted
Input Impedance	20	20	kΩ typ	Internal Band Gap Deselected via ADCCON1.6
Input Leakage	1	1	μA max	
POWER SUPPLY MONITOR (PSM)				
DV _{DD} Trip Point Selection Range	2.63 4.37		V min V max	Four Trip Points Selectable in This Range Programmed via TPD1-0 in PSMCON
DV _{DD} Power Supply Trip Point Accuracy	±3.5		% max	
WATCHDOG TIMER (WDT)⁴				
Timeout Period	0 2000	0 2000	ms min ms max	Nine Timeout Periods Selectable in this Range
FLASH/EE MEMORY RELIABILITY CHARACTERISTICS¹⁶				
Endurance ¹⁷	100,000	100,000	Cycles min	
Data Retention ¹⁸	100	100	Years min	
DIGITAL INPUTS				
Input High Voltage (V _{DH}) ⁴	2.4	2	V min	V _{DN} = 0 V or V _{DD} V _{DN} = 0 V or V _{DD}
Input Low Voltage (V _{DL}) ⁴	0.8	0.4	V max	
Input Leakage Current (Port 0, EA)	±10 ±1	±10 ±1	μA max μA typ	
Logic 1 Input Current (All Digital Inputs)	±10 ±1	±10 ±1	μA max μA typ	V _{DN} = V _{DD} V _{DN} = V _{DD}
Logic 0 Input Current (Port 1, 2, 3)	-75 -40	-25 -15	μA max μA typ	V _{IL} = 450 mV
Logic 1-0 Transition Current (Port 2, 3)	-660 -400	-250 -140	μA max μA typ	V _{IL} = 2 V V _{IL} = 2 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADuC832

Parameter	V _{DD} = 5 V	V _{DD} = 3 V	Unit	Test Conditions/Comments
SCLOCK and RESET Only¹ (Schmitt-Triggered Inputs)				
V _{T+}	1.3	0.95	V min	
	3.0	2.5	V max	
V _{T-}	0.8	0.4	V min	
	1.4	1.1	V max	
V _{T+} - V _{T-}	0.3	0.3	V min	
	0.85	0.85	V max	
CRYSTAL OSCILLATOR				
Logic Inputs, XTAL1 Only				
V _{INL} , Input Low Voltage	0.8	0.4	V typ	
V _{INH} , Input High Voltage	3.5	2.5	V typ	
XTAL1 Input Capacitance	18	18	pF typ	
XTAL2 Output Capacitance	18	18	pF typ	
MCU CLOCK RATE	16.78	16.78	MHz max	Programmable via PLLCON
DIGITAL OUTPUTS				
Output High Voltage (V _{OH})				
	2.4		V min	V _{DD} = 4.5 V to 5.5 V
	4.0		V typ	I _{SOURCE} = 80 μA
		2.4	V min	V _{DD} = 2.7 V to 3.3 V
		2.6	V typ	I _{SOURCE} = 20 μA
Output Low Voltage (V _{OL})				
ALE, Ports 0 and 2	0.4	0.4	V max	I _{SINK} = 1.6 mA
Port 3	0.2	0.2	V typ	I _{SINK} = 1.6 mA
SCLOCK/SDATA	0.4	0.4	V max	I _{SINK} = 4 mA
	0.4	0.4	V max	I _{SINK} = 8 mA, I ² C Enabled
Floating State Leakage Current ¹				
	±10	±10	μA max	
	±1	±1	μA typ	
Floating State Output Capacitance				
	10	10	pF typ	
START UP TIME				
At Power-On				
	500	500	ms typ	At any Core CLK
From Idle Mode				
	100	100	μs typ	
From Power-Down Mode				
Wakeup with INTU Interrupt	150	400	μs typ	
Wakeup with SPI/PC Interrupt	150	400	μs typ	
Wakeup with External RESET	150	400	μs typ	
After External RESET in Normal Mode	30	30	ms typ	
After WDT Reset in Normal Mode	3	3	ms typ	Controlled via WDCON SFR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADuC832

SPECIFICATIONS (continued)

Parameter	V _{DD} = 5 V	V _{DD} = 3 V	Unit	Test Conditions/Comments
POWER REQUIREMENTS ^{19, 20}				
Power Supply Voltages				
AV _{DD} /DV _{DD} – AGND		2.7	V min	AV _{DD} /DV _{DD} = 3 V nom
		3.3	V max	
	4.5		V min	AV _{DD} /DV _{DD} = 5 V nom
	5.5		V max	
Power Supply Currents Normal Mode				
DV _{DD} Current ⁴	6	3	mA max	Core CLK = 2.097 MHz
AV _{DD} Current	1.7	1.7	mA max	Core CLK = 2.097 MHz
DV _{DD} Current	23	12	mA max	Core CLK = 16.78 MHz
	20	10	mA typ	Core CLK = 16.78 MHz
AV _{DD} Current	1.7	1.7	mA max	Core CLK = 16.78 MHz
Power Supply Currents Idle Mode				
DV _{DD} Current	4	2	mA typ	Core CLK = 2.097 MHz
AV _{DD} Current	0.14	0.14	mA typ	Core CLK = 2.097 MHz
DV _{DD} Current ⁴	10	5	mA max	Core CLK = 16.78 MHz
	9	4	mA typ	Core CLK = 16.78 MHz
AV _{DD} Current	0.14	0.14	mA typ	Core CLK = 16.78 MHz
Power Supply Currents Power-Down Mode				
DV _{DD} Current ⁴	80	25	µA max	Osc. On
	38	14	µA typ	
AV _{DD} Current	2	1	µA typ	
DV _{DD} Current	35	20	µA max	Osc. Off
	25	12	µA typ	
Typical Additional Power Supply Currents				
PSM Peripheral	50		µA typ	AV _{DD} = DV _{DD} = 5 V
ADC	1.5		mA typ	
DAC	150		µA typ	

NOTES

¹Temperature Range: -40°C to +125°C.

²ADC linearity is guaranteed during normal MicroConverter core operation.

³ADC LSB Size = $V_{REF}/2^N$, i.e., for Internal $V_{REF} = 2.5$ V, 1 LSB = 610 µV and for External $V_{REF} = 1$ V, 1 LSB = 244 µV.

⁴These numbers are not production tested but are guaranteed by design and/or characterization data on production release.

⁵Offset and Gain Error and Offset and Gain Error Match are measured after factory calibration.

⁶Based on external ADC system components, the user may need to execute a system calibration to remove additional external channel errors and achieve these specifications.

⁷SNR calculation includes distortion and noise components.

⁸Channel-to-channel crosstalk is measured on adjacent channels.

⁹The Temperature Monitor will give a measure of the die temperature directly, air temperature can be inferred from this result.

¹⁰DAC linearity is calculated using:

Reduced code range of 100 to 4095, 0 to V_{REF} range.

Reduced code range of 100 to 3945, 0 to V_{DD} range.

DAC Output Load = 10 kΩ and 100 pF.

¹¹DAC differential nonlinearity specified on 0 to V_{REF} and 0 to V_{DD} ranges.

¹²DAC specification for output impedance in the unbuffered case depends on DAC code.

¹³DAC specifications for I_{DIP} , voltage output settling time and digital-to-analog glitch energy depend on external buffer implementation in unbuffered mode. DAC in unbuffered mode is used with OP270 external buffer, which has a low input leakage current.

¹⁴Measured with V_{REF} and C_{REF} pins decoupled with 0.1 µF capacitors to ground. Power-up time for the internal reference will be determined by the value of the decoupling capacitor chosen for both the V_{REF} and C_{REF} pins.

¹⁵When using an external reference device, the internal band gap reference input can be bypassed by setting the ADCCON1.6 bit. In this mode, the V_{REF} and C_{REF} pins need to be shorted together for correct operation.

¹⁶Flash/EE Memory reliability characteristics apply to both the Flash/EE program memory and the Flash/EE data memory.

¹⁷Endurance is qualified to 100,000 cycles as per JEDEC Std. 22 method A117 and measured at -40°C, +25°C, and +125°C. Typical endurance at 25°C is 700,000 cycles.

¹⁸Retention lifetime equivalent at junction temperature (T_J) = 55°C as per JEDEC Std. 22 method A117. Retention lifetime based on an activation energy of 0.6 eV will decrease with junction temperature as shown in Figure 18 in the Flash/EE Memory description section.

¹⁹Power supply current consumption in Normal, Idle, and Power-Down Modes under the following conditions:

Normal Mode: Reset = 0.4 V, Digital I/O pins = open circuit, Core CLK changed via CD bit in PLLCON, Core Executing internal software loop.

Idle Mode: Reset = 0.4 V, Digital I/O pins = open circuit, Core CLK changed via CD bit in PLLCON, PCON.0 = 1, Core Execution suspended in idle mode.

Power-Down Mode: Reset = 0.4 V, All Port 0 pins = 0.4 V, All other digital I/O and Port 1 pins are open circuit, Core CLK changed via CD bit in PLLCON, PCON.0 = 1, Core Execution suspended in power-down mode, OSC turned ON or OFF via OSC_PD bit (PLLCON.7) in PLLCON SFR.

²⁰DV_{DD} power supply current will increase typically by 3 mA (3 V operation) and 10 mA (5 V operation) during a Flash/EE memory program or erase cycle.

Specifications subject to change without notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADuC832

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*(T_A = 25°C, unless otherwise noted.)

AV _{DD} to DV _{DD}	-0.3 V to +0.3 V
AGND to DGND	-0.3 V to +0.3 V
DV _{DD} to DGND, AV _{DD} to AGND	-0.3 V to +7 V
Digital Input Voltage to DGND	-0.3 V to DV _{DD} + 0.3 V
Digital Output Voltage to DGND	-0.3 V to DV _{DD} + 0.3 V
V _{REF} to AGND	-0.3 V to AV _{DD} + 0.3 V
Analog Inputs to AGND	-0.3 V to AV _{DD} + 0.3 V
Operating Temperature Range Industrial	
ADuC832BS	-40°C to +125°C
Operating Temperature Range Industrial	
ADuC832BCP	-40°C to +85°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Junction Temperature	150°C
θ _{JC} Thermal Impedance (ADuC832BS)	90°C/W
θ _{JC} Thermal Impedance (ADuC832BCP)	52°C/W
Lead Temperature, Soldering	
Vapor Phase (60 sec)	215°C
Infrared (15 sec)	220°C

* Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device at these or any other conditions above those listed in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ORDERING GUIDE

Model	Temperature Range	Package Description	Package Option
ADuC832BS	-40°C to +125°C	52-Lead Plastic Quad Flatpack	S-52
ADuC832BCP	-40°C to +85°C	56-Lead Chip Scale Package	CP-56
EVAL-ADuC832QS		QuickStart Development System	
EVAL-ADuC832QSP		QuickStart Plus Development System	

CAUTION

ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Electrostatic charges as high as 4000 V readily accumulate on the human body and test equipment and can discharge without detection. Although the ADuC832 features proprietary ESD protection circuitry, permanent damage may occur on devices subjected to high energy electrostatic discharges. Therefore, proper ESD precautions are recommended to avoid performance degradation or loss of functionality.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADuC832

PIN FUNCTION DESCRIPTIONS

Macro/mnemonic	Type	Function
DV _{DD}	P	Digital Positive Supply Voltage, 3 V or 5 V Nominal
AV _{DD}	P	Analog Positive Supply Voltage, 3 V or 5 V Nominal
C _{REF}	I/O	Decoupling Input for On-Chip Reference. Connect 0.1 μ F between this pin and AGND.
V _{REF}	I/O	Reference Input/Output. This pin is connected to the internal reference through a series resistor and is the reference source for the analog-to-digital converter. The nominal internal reference voltage is 2.5 V, which appears at the pin. See ADC section on how to connect an external reference.
AGND	G	Analog Ground. Ground reference point for the analog circuitry.
P1.0-P1.7	I	Port 1 is an 8-bit input port only. Unlike other ports, Port 1 defaults to Analog Input mode. To configure any of these Port Pins as a digital input, write a "0" to the port bit. Port 1 pins are multifunction and share the following functionality.
ADC0-ADC7	I	Analog Inputs. Eight single-ended analog inputs. Channel selection is via ADCCON2 SFR.
T2	I	Timer 2 Digital Input. Input to Timer/Counter 2. When enabled, Counter 2 is incremented in response to a 1-to-0 transition of the T2 input.
T2EX	I	Digital Input. Capture/Reload trigger for Counter 2; also functions as an Up/Down control input for Counter 2.
SS	I	Slave Select Input for the SPI Interface
SDATA	I/O	User Selectable, I ² C Compatible or SPI Data Input/Output Pin
SCLOCK	I/O	Serial Clock Pin for I ² C Compatible or SPI Serial Interface Clock
MOSI	I/O	SPI Master Output/Slave Input Data I/O Pin for SPI Interface
MISO	I/O	SPI Master Input/Slave Output Data I/O Pin for SPI Serial Interface
DAC0	O	Voltage Output from DAC0
DAC1	O	Voltage Output from DAC1
RESET	I	Digital Input. A high level on this pin for 24 master clock cycles while the oscillator is running resets the device.
P3.0-P3.7	I/O	Port 3 is a bidirectional port with internal pull-up resistors. Port 3 pins that have 1s written to them are pulled high by the internal pull-up resistors, and in that state can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins being pulled externally low will source current because of the internal pull-up resistors. Port 3 pins also contain various secondary functions that are described below.
PWMC	I	PWM Clock Input
PWM0	O	PWM0 Voltage Output. PWM outputs can be configured to uses ports 2.6 and 2.7 or 3.4 and 3.3
PWM1	O	PWM1 Voltage Output. See CFG832 Register for further information.
RxD	I/O	Receiver Data Input (Asynchronous) or Data Input/Output (Synchronous) of Serial (UART) Port
TxD	O	Transmitter Data Output (Asynchronous) or Clock Output (Synchronous) of Serial (UART) Port
INT0	I	Interrupt 0, programmable edge or level triggered Interrupt input, can be programmed to one of two priority levels. This pin can also be used as a gate control input to Timer 0.
INT1	I	Interrupt 1, programmable edge or level triggered Interrupt input, can be programmed to one of two priority levels. This pin can also be used as a gate control input to Timer 1.
T0	I	Timer/Counter 0 Input
T1	I	Timer/Counter 1 Input
CONVST	I	Active Low Convert Start Logic Input for the ADC Block when the External Convert Start Function is enabled. A low-to-high transition on this input puts the track-and-hold into its hold mode and starts conversion.
EXTCLK	I	Input for External Clock Signal; has to be enabled via CFG832 Register.
WR	O	Write Control Signal, Logic Output. Latches the data byte from Port 0 into the external data memory.
RD	O	Read Control Signal, Logic Output. Enables the external data memory to Port 0.
XTAL2	O	Output of the Inverting Oscillator Amplifier
XTAL1	I	Input to the Inverting Oscillator Amplifier
DGND	G	Digital Ground. Ground reference point for the digital circuitry.
P2.0-P2.7 (A8-A15) (A16-A23)	I/O	Port 2 is a bidirectional port with internal pull-up resistors. Port 2 pins that have 1s written to them are pulled high by the internal pull-up resistors, and in that state can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins being pulled externally low will source current because of the internal pull-up resistors. Port 2 emits the high order address bytes during fetches from external program memory and middle and high order address bytes during accesses to the external 24-bit external data memory space.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADuC832

PIN FUNCTION DESCRIPTIONS (continued)

Mnemonic	Type	Function
PSEN	O	Program Store Enable, Logic Output. This output is a control signal that enables the external program memory to the bus during external fetch operations. It is active every six oscillator periods except during external data memory accesses. This pin remains high during internal program execution. PSEN can also be used to enable serial download mode when pulled low through a resistor on power-up or RESET.
ALE	O	Address Latch Enable, Logic Output. This output is used to latch the low byte (and page byte for 24-bit address space accesses) of the address into external memory during normal operation. It is activated every six oscillator periods except during an external data memory access.
EA	I	External Access Enable, Logic Input. When held high, this input enables the device to fetch code from internal program memory locations 0000H to 1FFFH. When held low, this input enables the device to fetch all instructions from external program memory. This pin should not be left floating.
P0.7-P0.0 (A0-A7)	I/O	Port 0 is an 8-Bit Open-Drain Bidirectional I/O Port. Port 0 pins that have 1s written to them float and in that state can be used as high impedance inputs. Port 0 is also the multiplexed low order address and data bus during accesses to external program or data memory. In this application it uses strong internal pull-ups when emitting 1s.

TERMINOLOGY

ADC SPECIFICATIONS

Integral Nonlinearity

This is the maximum deviation of any code from a straight line passing through the endpoints of the ADC transfer function. The endpoints of the transfer function are zero scale, a point 1/2 LSB below the first code transition, and full scale, a point 1/2 LSB above the last code transition.

Differential Nonlinearity

This is the difference between the measured and the ideal 1LSB change between any two adjacent codes in the ADC.

Offset Error

This is the deviation of the first code transition (0000 ... 000) to (0000 ... 001) from the ideal, i.e., +1/2 LSB.

Gain Error

This is the deviation of the last code transition from the ideal AIN voltage (Full Scale = 1.5 LSB) after the offset error has been adjusted out.

Signal to (Noise + Distortion) Ratio

This is the measured ratio of signal to (noise + distortion) at the output of the ADC. The signal is the rms amplitude of the fundamental. Noise is the rms sum of all nonfundamental signals up to half the sampling frequency ($f_s/2$), excluding dc. The

ratio is dependent upon the number of quantization levels in the digitization process; the more levels, the smaller the quantization noise. The theoretical signal to (noise + distortion) ratio for an ideal N-bit converter with a sine wave input is given by:

$$\text{Signal to (Noise + Distortion)} = (6.02N + 1.76) \text{ dB}$$

Thus for a 12-bit converter, this is 74 dB.

Total Harmonic Distortion

Total Harmonic Distortion is the ratio of the rms sum of the harmonics to the fundamental.

DAC SPECIFICATIONS

Relative Accuracy

Relative accuracy or endpoint linearity is a measure of the maximum deviation from a straight line passing through the endpoints of the DAC transfer function. It is measured after adjusting for zero error and full-scale error.

Voltage Output Settling Time

This is the amount of time it takes for the output to settle to a specified level for a full-scale input change.

Digital-to-Analog Glitch Impulse

This is the amount of charge injected into the analog output when the inputs change state. It is specified as the area of the glitch in nV sec.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้